

EFEITO DO ESPAÇAMENTO ENTRE COLETORES E DA VELOCIDADE DE  
OPERAÇÃO NA AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA PIVÔ CENTRAL.

ANA LÚCIA GÔES D'ASSUMPÇÃO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, ÁREA  
DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM,  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Fortaleza - Ceará

1990

Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

[Redacted]  
ANA LÚCIA GÓES D'ASSUMÇÃO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/12/90.

[Redacted]  
Paulo Teodoro de Castro M.S.  
Orientador

[Redacted]  
Luis Carlos Uchôa Saunders - Doutor  
Conselheiro

[Redacted]  
Moisés Custódio Saraiva Leão - Ph D.  
Conselheiro

## RECONHECIMENTO

Aos meus irmãos, ANA PAULA e PAULO CÉZAR,  
pela força, carinho e companheirismo sem-  
pre presentes, mesmo à distância.

Aos meus pais, AYRTON e LETÍCIA, entes  
queridos, exemplos de amor, perseveran-  
ça, coragem e otimismo, pelo legado a  
mim deixado: o saber.

## DEDICO

"A conquista dos nossos objetivos é um exercício de perseverança, uma luta a ser vencida diariamente".

(a autora)



### AGRADECIMENTOS

Ao Programa Nacional de Irrigação (PRONI) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo e auxílio-tese.

Ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), pela oportunidade de realização deste curso.

À VBA-Consultores - Engenharia de Sistemas Hídricos Ltda, pela possibilidade de execução do trabalho de campo.

Ao amigo e orientador, Professor PAULO TEODORO DE CASTRO, pelo ensino, apoio e dedicação prestados antes e durante a realização deste trabalho.

Aos Professores LUIS CARLOS UCHÔA SAUNDERS e MOISÉS CUSTÓDIO SARAIVA LEÃO, pela colaboração e sugestões apresentadas a este trabalho.

Aos Professores do Curso de Mestrado e do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos Eng<sup>os</sup> Agr<sup>os</sup> IVAN MARTINS ALBUQUERQUE e EUNICE MAIA DE ANDRADE e ao Professor OMAR J. PEREIRA, pelas facilidades de acesso ao computador, e ao Professor JOSÉ OSÓRIO COSTA, pela ajuda durante a coleta de material bibliográfico.

Aos colegas BENEDITO, ANA TERSARIOL, WALDENÍSIA, TASSO e, em especial, a FÁBIO e FERNANDA, pela amizade, convívio e companheirismo.

Às amigas SANDRA CÁTIA PEREIRA UCHÔA e VERA PAIVA, pelo apoio, compreensão e incentivo, sempre presentes nos momentos mais difíceis desta jornada.

Aos meus familiares e, em especial a tia LEDA e

MARIA, pelo interesse e estímulo.

Aos amigos do CAEN, pela receptividade e convívio alegre.

Aos funcionários do Curso de Mestrado e do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos serviços prestados no decorrer do curso.

## SUMÁRIO

<u>LISTA DE TABELAS</u> .....	ix
<u>LISTA DE FIGURAS</u> .....	xiv
<u>RESUMO</u> .....	xvi
<u>ABSTRACT</u> .....	xvii
1 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u> .....	3
2.1 - <u>O Sistema Pivô Central</u> .....	3
2.2 - <u>Avaliação do Desempenho de Sistemas de Irrigação por Aspersão</u> .....	6
2.2.1 - Metodologias Empregadas na Avaliação do Sistema de Irrigação por Aspersão .....	7
2.3 - <u>Fatores que Afetam o Desempenho do Sistema de Irrigação por Aspersão</u> .....	11
2.3.1 - Fatores Climáticos .....	12
2.3.2 - Fatores não Climáticos .....	17
2.4 - <u>Parâmetros de Qualidade da Irrigação</u> .....	23
2.4.1 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) .....	25
2.4.2 - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) .....	27
2.4.3 - Eficiência de Aplicação Potencial (EAP) ...	28
3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u> .....	30
3.1 - <u>Descrição do Sistema</u> .....	30
3.2 - <u>Metodologia de Avaliação do Sistema</u> .....	34
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	41
4.1 - <u>Efeito do Espaçamento entre Coletores na Qualidade da Irrigação por Pivô Central</u> .....	41
4.2 - <u>Performance do Sistema sob Diferentes Velocidades de Operação</u> .....	60
4.3 - <u>Avaliação Geral do Sistema</u> .....	68
5 - <u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u> .....	78
5.1 - <u>Conclusões</u> .....	78



5.2 - <u>Recomendações:</u> .....	79
6 - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	80
ANEXO 01 - <u>QUADRO GERAL DE RESULTADOS</u> .....	88
ANEXO 02 - <u>MEDIDAS DA PRESSÃO DE SERVIÇO DOS</u> <u>SPRAYS</u> .....	90
ANEXO 03 - <u>LÂMINAS COLETADAS DURANTE OS TESTES.</u>	101
ANEXO 04 - <u>DADOS DO FABRICANTE</u> .....	129



## LISTA DE TABELAS

Tabelas	Página
1 - Especificações técnicas do pivô .....	31
2 - Características do motor elétrico e bomba centrífuga .....	33
3 - Resultados do CUC, CUD e EAP do raio 1, para espaçamentos entre coletores de 6, 12 e 18 m.	42
4 - Resultados do CUC, CUD e EAP do raio 2, para espaçamentos entre coletores de 6, 12 e 18 m.	43
5 - Resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e média cíclica na área, para espaçamentos entre coletores de 6, 12 e 18 m .....	45
6 - Resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e média cíclica na área, tomados a partir da média individual dos valores obtidos nos dois raios, para espaçamentos entre coletores de 6, 12 e 18 m .....	46
7 - Lâmina média coletada, lâmina média aplicada e lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas, no sistema e média cíclica na área, considerando-se um espaçamento de 6 m entre coletores .....	57
8 - Lâmina média coletada, lâmina média aplicada e lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas, no sistema e média cíclica na área, considerando-se um espa-	

çamento de 12 m entre coletores .....	58
9 - Lâmina média coletada, lâmina média aplicada e lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas, no sistema e média cíclica na área, considerando-se um espaçamento de 18 m entre coletores .....	59
10 - Influência da velocidade de operação do sistema sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do raio 1, para regulagem da velocidade em 50, 80 e 100 % .....	61
11 - Influência da velocidade de operação do sistema sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do raio 2, para regulagem da velocidade em 50, 80 e 100 % .....	62
12 - Influência da velocidade de operação sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do sistema, considerando a regulagem da velocidade em 50, 80 e 100 % .....	64
13 - Lâmina média coletada, lâmina média aplicada, velocidade de rotação da última torre e tempo de revolução no sistema e média cíclica na área, conforme a regulagem da velocidade.	66
14 - Evaporação, lâmina média coletada, lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas e eficiência de aplicação potencial, conforme a regulagem da velocidade, no sistema e média cíclica na área .....	67
15 - Influência da pressão no ponto pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP de cada raio, para regulagem da velocidade em 50 % .....	70



16 - Influência da pressão no ponto pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP de cada raio, para regulagem da velocidade em 80 % .....	71
17 - Influência da pressão no ponto pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP de cada raio, para regulagem da velocidade em 100 % .....	72
18 - Influência da pressão no ponto pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e média cíclica na área .....	73
19 - Resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e média cíclica na área, de acordo com a evaporação, temperatura média e umidade relativa média do ar, para regulagem da velocidade em 50, 80 e 100 % .....	75
20 - Parâmetros hidráulicos relacionados com a velocidade de operação, e determinados no sistema, durante cada teste .....	76
21 - Resultados do CUC, CUD e EAP, de cada raio em particular e do sistema, de acordo com a regulagem da velocidade e considerando espaçamentos de 6, 12 e 18 m entre coletores ...	89
22 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 01 .....	91
23 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 02 .....	92
24 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - medição nº 03 .....	93

25 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 04 .....	94
26 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 05 .....	95
27 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 06 .....	96
28 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 07 .....	97
29 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 08 .....	98
30 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 09 .....	99
31 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 10 .....	100
32 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 01 - Regulagem da velocidade em 50 % .....	102
33 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 02 - Regulagem da velocidade em 50 % .....	105
34 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 03 - Regulagem da velocidade	



em 50 % .....	108
35 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 01 - Regulagem da velocidade em 80 % .....	111
36 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 02 - Regulagem da velocidade em 80 % .....	114
37 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 03 - Regulagem da velocidade em 80 % .....	117
38 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 01 - Regulagem da velocidade em 100 % .....	120
39 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 02 - Regulagem da velocidade em 100 % .....	123
40 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 03 - Regulagem da velocidade em 100 % .....	126
41 - Dados do "Kit" do fabricante .....	130

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 - Esquema da instalação dos coletores para os testes de campo .....	35
2 - Fixação dos coletores pluviométricos no campo .....	37
3 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 50 % e espaçamento de 6 m entre coletores .....	48
4 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 80 % e espaçamento de 6 m entre coletores .....	49
5 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 100 % e espaçamento de 6 m entre coletores .....	50
6 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 50 % e espaçamento de 12 m entre coletores .....	51
7 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 80 % e espaçamento de 12 m entre coletores .....	52
8 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 100 % e espaçamento de 12 m entre coletores .....	53
9 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema	

com velocidade de operação 50 % e espaçamen- to de 18 m entre coletores .....	54
10 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 80 % e espaçamen- to de 18 m entre coletores .....	55
11 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 100 % e espaçamen- to de 18 m entre coletores .....	56

## RESUMO

O presente trabalho foi conduzido numa área de propriedade do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), situada no município de Paraipaba-Ce, tendo como objetivos principais a avaliação do efeito do espaçamento entre coletores na qualidade da irrigação por pivô central e da performance do sistema sob diferentes velocidades de operação. Como objetivo secundário, realizar uma avaliação geral do sistema. Com este intuito, empregou-se a metodologia de avaliação de sistemas pivô central, proposta por MERRIAM & KELLER (1978) e como parâmetros indicadores do desempenho do sistema, determinaram-se: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Eficiência de Aplicação Potencial (EAP).

Os parâmetros de qualidade da irrigação foram determinados considerando-se espaçamentos de 6, 12 e 18 m, entre os coletores, e regulagem da velocidade de operação em 50, 80 e 100 % da máxima. Os valores do CUC, CUD e EAP, obtidos com os espaçamentos de 6 e 12 m apresentaram, de uma maneira geral, um melhor agrupamento dos dados, sendo, portanto, mais fiéis à situação de campo, quando comparados com aqueles alcançados no espaçamento de 18 m. Quanto à velocidade de operação do sistema, observou-se que, para a média cíclica na área, um melhor desempenho era alcançado quando operava-se a 80 %.

Os resultados obtidos para o CUC, inferiores à 70 %, indicam que o sistema não operava satisfatoriamente, e a variabilidade na pressão de serviço dos sprays, causada pelo mau funcionamento dos reguladores de pressão, aliada à queda da pressão no ponto pivô exerceram um efeito marcante na redução dos valores do CUD.



## ABSTRACT

A field work was conducted at Paraipaba, Ceará, Brazil, to evaluate the effect of the spacing between water collecting devices in the center pivot irrigation quality and the general performance of the system based on different operating velocities of the rotating line. A methodology developed by MERRIAM and KELLER (1978) was used in the evaluation, and the performance parameters "Christiansen Uniformity Coefficient (CUC)", "Distribution of Uniformity Coefficient (CUD)" and "Potencial Application Efficiency (EAP)" were determined. Irrigation quality parameters were determined for the spacings of 6, 12 and 18 m between water collectors, and operating velocities of 50, 80 and 100 % of the maximum velocity.

The values for CUC, CUD and EAP, obtained from the spacings of 6 and 12 m between collectors show, in general, a much better grouping of data and, as a consequence, a better resemblance to the field situation, when compared to the 18 m spacing. The best performance of the system was obtained with the velocity equivalent to 80 % of the maximum. Low values for the CUC, below 70 %, indicated a poor general performance of the system. Low values for the CUD were caused by excessive variability in the spray pressures, due to poor functioning of pressure regulators, and pressure variations at the pivot point.

## 1 - INTRODUÇÃO

Em função de programas governamentais específicos como PROFIR, PRONI e PROINE, os sistemas de irrigação por aspersão revelaram um crescimento histórico a partir de 1981, partindo dos sistemas tradicionais como os "convencionais" fixos e móveis, aos mecânicos.

Os sistemas mecanizados por aspersão surgiram visando aumentar a eficiência de aplicação de água e reduzir a utilização de mão-de-obra, que geralmente representa um custo elevado na movimentação da tubulação e também devido a carência de pessoal habilitado para desempenhar satisfatoriamente esta operação. Dentre estes, o pivô central apresenta-se como o mais procurado.

No Brasil, a fabricação de pivô central teve início em 1978 com a associação da VALMONT, empresa norte-americana, com a ASBRASIL, originando a marca VALMATIC, que já fabricou e instalou equipamentos numa área superior a 50.000 ha até o ano de 1988. Atualmente este sistema é comercializado por várias firmas, que fornecem o "kit" para um determinado número de hectares, existindo, hoje, cerca de 3.500 pivôs centrais, variando de 40 a 140 hectares, dependendo da disponibilidade de área para irrigação.

Este sistema foi desenvolvido visando três objetivos: mecanizar a irrigação, irrigar solos arenosos que necessitam de curta frequência de irrigação, e irrigar qualquer tipo de área mecanizável, inclusive aquelas de topografia desfavorável.

Como nos outros sistemas, a adoção do pivô central depende da análise das particularidades de cada situação, sendo que em muitos casos, este sistema se traduz na melhor escolha. A seleção do tipo de sistema pivô central depende, principalmente, das condições locais de solo, topografia, clima, cultura e custos de energia.



O uso desses equipamentos de irrigação, está em franca expansão no território brasileiro, apesar do elevado custo do aparelho. Provavelmente, esse impulso é devido à facilidade de operação desses equipamentos, que, após a montagem, uma só pessoa é capaz de operar diversas unidades.

No entanto, testes realizados por técnicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e do Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA) do Ministério da Agricultura, revelaram que os pivôs centrais produzidos pela indústria nacional não estão operando corretamente. Se fizessem uma irrigação de melhor qualidade, mais uniforme e econômica, os agricultores gastariam menos com energia elétrica. Vale salientar que os técnicos da indústria não fazem nenhuma calibração dos pivôs nas condições de campo. A velocidade de deslocamento registrada na tabela que acompanha os projetos é a mesma que o equipamento apresenta no pátio da fábrica.

Dessa maneira, é de suma importância a descrição e o conhecimento da distribuição de água sobre o pivô central, pois esta define a performance do sistema em termos de uniformidade e eficiência, essencial na elaboração de projetos e no manejo da irrigação. O melhor meio para obter esses dados é determiná-los em campo, estando o sistema em condições normais de funcionamento. Sendo assim, a avaliação de um sistema de irrigação por pivô central foi conduzida em Paraipaba-Ce, de outubro de 1989 a fevereiro de 1990, tendo como objetivos:

- testar a metodologia de avaliação proposta por MERRIAM & KELLER (1978), para diferentes espaçamentos entre coletores, observando os seus efeitos na qualidade da irrigação;
- avaliação da performance do sistema sob diferentes velocidades de operação.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - O Sistema Pivô Central

O Pivô Central consiste numa linha lateral com aspersores, autopropelido, com movimento circular em torno de um ponto fixo, a uma velocidade prefixada e constante. Essa linha é suportada, longitudinalmente, por uma série de torres que se movimentam sobre rodas ao redor do ponto central da área irrigada, denominado ponto pivô.

Este sistema foi patenteado em 1952, por Franck Zyback no estado de Nebraska, E.U.A., e em 1960 já se encontravam em funcionamento duas centenas de conjuntos nas zonas áridas norte americanas. Em decorrência da introdução de novos e modernos conceitos de irrigação na agricultura, bem como do aperfeiçoamento tecnológico do sistema, sua expansão rapidamente ultrapassou as fronteiras dos Estados Unidos (SANTOS et alii, 1988). Atualmente o seu uso já está difundido na maioria dos países, existindo mais de quatro milhões de hectares irrigados por este sistema. No Brasil, até junho de 1988, só a Fábrica ASBRASIL já tinha instalado 1015 pivôs, irrigando uma área de 82.167 ha, ou seja, uma média de 81 ha por pivô (BERNARDO, 1989).

A expressiva adoção desse sistema de irrigação pode ser atribuída aos seguintes fatores: economia de mão-de-obra para realizar a irrigação; facilidade de fertirrigação e aplicação de defensivos agrícolas diluídos na água; a altura livre sob a estrutura permite a execução de quaisquer práticas agrícolas; aplicação de pequenas lâminas de água com maior frequência sobre a cultura e, ao término de uma irrigação, a linha de aspersores já se encontra na posição adequada para o início da seguinte.

Por outro lado, apresenta-se, em relação aos con-



vencionais, com as seguintes limitações: elevado custo, incluindo o da tubulação adutora; alcance circular, perdendo-se cerca de 20 % da área a ser irrigada; dificuldade para movimentá-lo para outro local e a alta intensidade de aplicação nas extremidades, sendo muito comum o escoamento superficial nessas áreas. Pode-se citar ainda, a necessidade de uma área totalmente livre de edificações, árvores ou qualquer outro elemento de grande porte, para a movimentação da linha de irrigação.

Segundo COLETI JUNIOR, citado por FARIA & VIEIRA (1986), o custo do hectare irrigado com pivô central, para áreas de 90 a 140 ha é igual ao de um sistema convencional. Portanto, para este tipo de irrigação deve-se procurar irrigar a maior área possível para diluir o custo de cada torre incorporada ao sistema. AZEVEDO et alii (1983), citam que o investimento por hectare irrigado varia de acordo com o comprimento da adutora, número de torres, a precipitação prevista e o desnível entre a tomada de água e o ponto mais alto a ser irrigado.

Um grande número de modificações e aperfeiçoamentos foram feitos sobre o projeto original do pivô central; dentre elas, MARCHETTI (1983), cita o desenvolvimento das articulações flexíveis entre torres, tornando possível a operação do sistema em terrenos com topografia irregular, o que permitiu a redução do custo de preparação do terreno para irrigação.

Atualmente, para minimizar problemas criados pelo vento, no caso de pivô central, aspersores têm sido montados em tubos de descida ou pendural. Como, nestes casos, a taxa média de aplicação cresce ainda mais devido a redução da área molhada, o problema de escoamento superficial e erosão pode surgir ou agravar-se. Para reduzir esse problema, no entanto, tem-se utilizado uma barra dotada de até 5 "sprays" conectada perpendicularmente à extremidade inferior do tubo de descida. Essa barra, "spray boom", comumente, é disposta formando um ângulo de 60 a 70 ° com a linha lateral do pivô, no sentido de aumentar ainda mais a área molhada (SILVA, 1989).



Um método alternativo muito prático é o "corner pivot", o qual incorpora o uso de uma única torre com um longo vão conectado à torre mais externa do equipamento pivô central convencional. Esta conexão é usada para ampliar o alcance do equipamento padrão com o objetivo de irrigar os cantos ou áreas de formato irregular (CALLIES, 1978). Segundo o autor um projeto de sistema "corner pivot" é feito de modo que ele possa ser facilmente acoplado aos equipamentos existentes, sem requerer modificações no sistema de fornecimento de água.

De acordo com JAMES (1982), o aumento no custo unitário de energia e a possível escassez de energia no futuro estão intensificando os esforços no desenvolvimento de noções aceitáveis de projeto e estratégias de manejo para redução do uso de energia.

ALI & BAREFOOT (1978), garantem que uma grande porcentagem de combustível ou energia consumida na operação de sistemas pivô central, é usada para manter a alta pressão de operação desses sistemas, necessária para promover a melhor distribuição da água no campo. Se a pressão de operação pode ser reduzida sem afetar significativamente a capacidade do sistema em distribuir água uniformemente, energia poderia ser economizada e o custo operacional do sistema seria reduzido.

JAMES & BLAIR (1984), afirmam que muitos aspersores que operam a pressões tão baixas quanto  $1,41 \text{ Kgf/cm}^2$  (20 psi) estão sendo usados em sistemas pivô central. Estes aspersores normalmente umedecem menor área e apresentam maior intensidade média de aplicação do que os aspersores de alta pressão, tradicionalmente usados nestes sistemas.

GILLEY & MIELKE (1980), salientam que embora sistemas pivô central com aspersores de baixa pressão economizem energia, seu uso pode causar problemas com aumento do potencial de escoamento superficial, erosão do solo, desuniformidade de aplicação d'água e problemas associados ao manejo do sistema água-solo. Para superar estes problemas, reguladores de pressão têm sido acoplados aos sistemas de baixa pressão. A vantagem dos reguladores é aumentar a uniformidade pelo con-

trole da pressão, e desse modo a vazão. VON BERNUTH (1982), recomenda a instalação desses dispositivos quando o custo acarretado pela desuniformidade é igual ou maior que o custo do gasto de energia devido ao uso dos mesmos.

Com o custo elevado da energia, existe, atualmente, uma tendência muito grande para uso de computadores no manejo agrícola. HEERMANN et alii (1984), descreveram um sistema de gerenciamento integrado de água e energia com quatro funções, incluindo manejo, controle do bombeamento, calendário da irrigação e controle de carga. Segundo os autores o objetivo desse sistema é melhorar o manejo geral das operações agrícolas e fazer uso mais eficiente da água e energia.

O sistema de irrigação por pivô central está se tornando popular no semi-árido brasileiro, o que requer estudos visando um maior conhecimento da sua operacionalização nas diferentes condições de solo e clima da região (GUERRA, 1988). De acordo com SILVA (1989) o desenvolvimento e uso de aspersores de baixa pressão fez com que várias modificações em equipamentos tipo pivô central se fizessem necessárias. Tais modificações por sua vez, afetam o desempenho desses sistemas de irrigação.

## 2.2 - Avaliação do Desempenho de Sistemas de Irrigação por Aspersão

Para FIETZ et alii (1989), o planejamento de um sistema de irrigação por aspersão não deve ser realizado unicamente com dados técnicos fornecidos pelos fabricantes, mas também a partir de informações obtidas em testes de campo, com os aspersores sob condições que deverão prevalecer quando em operação.

MERRIAM & KELLER (1978), afirmam que a avaliação é necessária para direcionar o manejo e oferecer condições de decisão sobre a continuação das práticas existentes ou de aperfeiçoá-las. Este estudo deve medir e mostrar a eficiên-



cia destas práticas, indicando quais e/ou se melhoramentos podem ser feitos, proporcionando à gerência selecionar possíveis modificações, que podem ser de ordem prática e econômica.

Com o desenvolvimento de sistemas de irrigação mecanizados como o pivô central, torna-se necessário a utilização de métodos apropriados para avaliar a distribuição de água sob o equipamento, inclusive com distribuição de pluviômetros de forma diferente do tradicional método proposto por CHRISTIANSEN em 1942 (LEME, 1986).

De acordo com BEALE & HOWELL (1966), na pesquisa por um meio satisfatório de caracterizar a uniformidade de distribuição de água de um modelo da irrigação por aspersão numa determinada área, um crescente número de métodos de avaliação têm surgido.

#### 2.2.1 - Metodologias Empregadas na Avaliação do Sistema de Irrigação por Aspersão

PAIR (1973), citado por RING & HEERMANN (1978), sugeriu avaliação do sistema pivô central através de três linhas de coletores dispostas radialmente com um espaçamento de 3,05 m.

MERRIAM & KELLER (1978), dedicaram uma larga porção do seu trabalho a avaliações de pivô central. Os autores descreveram o seguinte método de avaliação, o qual baseia-se na uniformidade de distribuição de água ao longo da lateral:

- o sistema deve ser testado em um campo com cultura de baixo crescimento ou sem cultura, quando a lateral estiver em posição que apresente o mínimo de diferença de nível. Em campos com culturas mais altas, o sistema deve ser testado no local onde a lateral cruzar a estrada de acesso ao pivô;
- instalar recipientes coletores (pluviômetros) ao longo de uma linha radial, partindo do ponto pivô e numerados em

ordem crescente, com espaçamentos inferiores a 9 m, sendo de preferência entre 4,5 e 6 metros. Deve-se tomar a precaução de evitar que os recipientes sejam colocados no caminho percorrido pelas rodas do equipamento;

- determinar a área irrigada, estimando-se primeiro o raio molhado do círculo irrigado;
- determinar o espaço de tempo requerido para o sistema completar uma revolução;
- medir a velocidade de deslocamento da última torre;
- medir o comprimento da linha lateral até a última torre;
- estimar a largura da faixa molhada (perpendicular à lateral) e o período de tempo em que a água é recolhida pelos recipientes próximos à unidade propulsora da extremidade;
- estimar a vazão total do sistema;
- para determinar as perdas por evaporação, deve-se separar, no início de cada teste, dois recipientes com volume conhecido de água;
- os volumes de água coletados nos recipientes devem ser medidos, com a maior rapidez possível, através de uma proveta graduada;
- deve-se anotar quaisquer anormalidades ocorridas na captação da água;
- medir a diferença de elevação entre o pivô e o ponto mais alto ou baixo para a posição da lateral por ocasião do teste;
- verificar a pressão de operação no ponto pivô e "sprays" da extremidade. Observar também o diâmetro dos bocais dos últimos "sprays";
- determinar as condições climáticas vigentes na área em estudo: direção e velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar;
- obtenção dos dados fornecidos pelo fabricante para o equipamento em estudo, tais como: marca, modelo, pressão de serviço, propulsão.

Um outro método utilizado para avaliação do desempenho de sistemas pivô central é o proposto pela Comissão de Estudos de Equipamentos de Irrigação e Drenagem da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Alguns técni-



cos garantem que no futuro, esse método será adotado por todos os centros de engenharia agrícola credenciados pelo governo federal (ROSA, 1988).

De acordo com SANTOS et alii (1988), o método sugerido pela ABNT é semelhante ao método clássico de MERRIAM & KELLER, em 1978, diferindo apenas no item que se refere à distribuição dos pluviômetros no campo. Neste, os pluviômetros são instalados em duas linhas radiais, formando um ângulo de três graus entre si, para três diferentes posições na topografia. Deve-se distribuir as linhas de coletores numa posição representativa das condições topográficas do terreno.

Existe uma tendência atual na pesquisa para ajustar a distribuição de água obtida no teste de uniformidade de um aspersor a uma função matemática (ou modelo matemático) e a partir desse modelo estabelecer os parâmetros que determinam a performance do sistema (SOUZA & RIBEIRO, 1984). Segundo JAMES (1982), avaliações de campo de cada dado de projeto e estratégia de manejo nos quais o sistema pivô central pode operar é um processo cansativo e oneroso. Um modelo matemático que represente a performance do sistema operando a diferentes condições, poderia facilitar muito o processo de avaliação.

LEME (1986), apresentou uma metodologia para avaliação da qualidade da distribuição da água sob sistemas de irrigação pivô central através dos modelos normal e linear, e concluiu que o uso de apenas uma linha radial de coletores e a consequente aplicação dos dados aos modelos linear e normal mostrou ser adequada, além de requerer menor trabalho para instalação do campo de testes, assim como para obtenção dos dados de altura d'água aplicada. O autor enfatiza que os resultados estavam em concordância com os obtidos por MERRIAM & KELLER (1978), utilizando diferente metodologia para avaliação.

HEERMANN & HEIN (1968), desenvolveram fórmulas e métodos numéricos para cálculos da aplicação de água em qualquer sistema pivô central.

STEGMAN & SHAH (1971) e LEMBKE & JONES (1971), ci-



tados por HEERMANN et alii (1974), têm demonstrado que um modelo de simulação é útil na avaliação de sistemas de irrigação. Segundo estes autores, um modelo permite avaliação para um período climático maior do que é normalmente possível com observações diretas de campo.

Vários autores têm usado modelos matemáticos para estimar a distribuição de pressão em terrenos planos (KINCAID & HEERMANN, 1970; CHU & MOE, 1972) e a lâmina de aplicação (RING & HEERMANN, 1978) ao longo da lateral do pivô central e encontraram uma concordância aceitável com medidas de campo.

JENSEN et alii (1967), citados por BRIDI (1984), garantem que, quando conhecido, o modelo de distribuição de um sistema de irrigação pode ser usado para avaliar a adequação de uma irrigação ou estimar um valor numérico que pode ser usado para ajustar a duração de uma irrigação a fim de se obter a lâmina desejada.

FISCHER & WALLENDER (1988), estudaram o efeito do tamanho do coletor e duração do teste na determinação da distribuição de água na aspersão, e recomendam o uso de testes de longa duração e coletores com diâmetro maior que os convencionais para avaliações de campo, a fim de minimizar a incerteza na coleta da água no aspersor.

De acordo com DAVIS (1966), em avaliações de sistemas de irrigação por aspersão, a seleção do número e espaçamento de coletores utilizados para amostragem da distribuição de água, é resultado de um compromisso entre o número de coletores necessários para uma amostragem precisa e a conveniência e economia proporcionada por um pequeno número de coletores.

ASAE standart S398T (ASAE, 1983), especifica o espaçamento entre coletores e posição relativa do aspersor. Para aspersores com raio de alcance menor que 3 m, o espaçamento máximo recomendado é 0,3 m e para alcance maiores do que 12 m, o espaçamento aumenta somente para 1,5 m (WALLENDER & OHIRA, 1987).

DAVIS (1966), analisando os parâmetros envolvidos na descrição da uniformidade de distribuição de água a par-

tir de aspersores, com relação à densidade de coletores, e considerando quatro modelos de distribuição, concluiu que:

- em todos os modelos, a lâmina média aplicada foi essencialmente a mesma para todas as densidades de amostragem (correspondendo à espaçamento entre coletores de 0,60, 1,60, 1,82 e 3 m). A máxima diferença entre lâminas para espaçamentos de 0,60 e 4 m foi somente 2,3 % da média verdadeira;
- o tipo de modelo de distribuição e o grau de desuniformidade não influenciava a consistência dos valores da lâmina média para as várias densidades de amostragem.

RING & HEERMANN (1978), determinaram a uniformidade em sistemas de aspersão pivô central, escolhendo 99 % como um nível de confiança necessário para atestar que o método de avaliação não afetava os resultados obtidos. Comparações de espaçamento entre coletores, realizadas por estes autores, não se aproximaram deste nível, permitindo aos mesmos concluir que espaçamento entre coletores poderia variar de 6 a 18 m sem afetar os resultados.

### 2.3 - Fatores que Afetam o Desempenho do Sistema de Irrigação por Aspersão

Um parâmetro de grande importância em sistemas de irrigação por aspersão é a Uniformidade de Distribuição da água. A baixa uniformidade das lâminas de água sobre a área irrigada pode levar a resultados insatisfatórios, reduzindo a eficiência de aplicação do sistema.

O desempenho de um sistema de irrigação por aspersão pode ser avaliado através da uniformidade com que a água é distribuída no campo, a qual, segundo WALKER (1978), citado por SOUZA & RIBEIRO (1984), depende, basicamente, dos critérios adotados na elaboração do projeto (espaçamento entre aspersores e laterais, pressão de serviço, bocal do aspersor), do manejo e operação do sistema e de fatores climáticos. Outros fatores como: medições imprecisas, diferen-



ças físicas entre aspersores de mesmo modelo e marca, direção do vento e demanda evaporativa do ar, podem também contribuir para que haja variabilidade nos resultados de coeficientes de uniformidade (SOLOMON, 1979).

De acordo com ROSA (1988), um grande número de fatores precisam ser considerados na hora de se projetar um sistema pivô central para que a uniformidade de distribuição seja alcançada. Entre eles, o tipo de aspersores mais indicados para as condições locais (taxa de infiltração, textura do solo, características da cultura, declive do terreno); ordem de colocação dos diferentes tipos de aspersores ao longo da tubulação aérea do pivô; definição do espaçamento entre os aspersores e outros. Vários autores (HEERMANN & HEIN, 1968; PAIR, 1968), constataram que a água é aplicada uniformemente ao longo do sistema pivô central, desde que o mesmo esteja operando de acordo com as recomendações do fabricante.

### 2.3.1 - Fatores Climáticos

Vento, umidade relativa do ar, temperatura e radiação solar são os principais fatores climáticos que influenciam a eficiência de aplicação e uniformidade em sistemas de irrigação por aspersão (CULVER & SINKER, 1966; DAKER, 1984).

De acordo com VORIES & VON BERNUTH (1986), estes sistemas são frequentemente projetados sem uma adequada consideração do vento. Contudo AZEVEDO et alii (1983), salientam que dados sobre sua velocidade e direção devem ser conhecidos, a fim de orientar a escolha dos aspersores e a disposição das linhas no campo.

Muitos pesquisadores (MEDEIROS FILHO et alii, 1985; VORIES & VON BERNUTH, 1986; BRIDI et alii, 1986; e SILVA, 1989), concordam que a uniformidade de distribuição de água diminui à medida que a velocidade do vento aumenta. Quanto maior a intensidade do vento e menor



o diâmetro das gotas, maior a distorção na distribuição de água. Mesmo assim, a irrigação por aspersão pode ser empregada em regiões onde há grande incidência de ventos, desde que o problema seja devidamente estudado. Com ventos acima de 6 m/s, no entanto, recomenda-se optar por outro método (MAROUELLI, 1989).

O efeito do vento sobre os modelos de distribuição de água pelos aspersores é, segundo CHRISTIANSEN (1942), que esse elemento climático pode transportar a água a uma distância maior em sua direção, ocasionando, assim, uma elevada concentração de água próxima ao aspersor, especialmente na direção normal à do vento, e, conseqüentemente uma deficiência no local oposto ao sentido do mesmo.

ROSA et alii (1988), citam que o vento pode influenciar o raio de alcance do aspersor afetando, como consequência, a distribuição e a altura da lâmina aplicada.

MAROUELLI (1989); WITHERS & VIPOND (1977), citados por BRIDI (1984); KINCAID et alii (1969); LEME (1986); DILLON et alii (1972), afirmam que a aplicação de água por um aspersor, que na ausência de vento seria de forma circular, poderá adquirir as mais variadas formas, em especial a elíptica, quando este fator se faz presente. Esta deformidade na distribuição da água pode fazer com que alguns pontos da área sejam irrigados em excesso ou sub-irrigados.

KELLER (1979), salienta que a distorção causada pelo vento não é problema sério em pivô central, uma vez que os "sprays" apresentam um espaçamento reduzido na lateral e estão em movimento circular contínuo, o que permite ao sistema uma alta uniformidade.

JONES (1974), citado por ALI & BAREFOOT (1978), testou o efeito da velocidade do vento na uniformidade de aplicação para um sistema pivô central. A relação mostrou-se linear e as uniformidades obtidas variaram de 81,5 % a 90,4 % para o pivô central testado.

GOMIDE (1978) e RIBEIRO (1982), citados por MEDEIROS FILHO et alii (1985), considerando o efeito combinado do vento e espaçamento na uniformidade de distribuição, observaram que esta aumentava com a redução do espaçamento e/ou

baixas velocidades do vento, sendo esse aumento causado, provavelmente, pela melhor superposição dos jatos d'água.

BRIDI (1984), analisando a uniformidade de distribuição de água em sistema pivô central, segundo metodologia proposta por MERRIAM & KELLER (1978) e considerando um espaçamento entre coletores de 6 m, verificou que velocidades do vento mais elevadas ocasionaram menor coeficiente de uniformidade de Christiansen, e que a direção do vento influenciava a área irrigada pelo pivô (quando este atuava paralelamente à linha lateral, mas em direção contrária ao canhão setorial, na extremidade, havia uma redução na área irrigada).

NOGUEIRA (1987), determinou os parâmetros de avaliação de dois sistemas de irrigação por aspersão e observou que, de um modo geral, as irrigações feitas no período matutino foram de melhor qualidade que aquelas do horário vespertino, devido às condições de velocidade de vento terem sido mais amenas para aquele horário.

RAPP et alii (1979), citados por JOHNSON et alii (1987), avaliaram a performance de dois sistemas de irrigação pivô central e desenvolveram um modelo de simulação para descrever os efeitos do vento na uniformidade de distribuição de água.

De acordo com BERNARDO (1989) e MAROUELLI (1989), condições de vento forte, além de afetar consideravelmente a uniformidade de distribuição de água, podem conjuntamente com a alta temperatura e a baixa umidade relativa do ar, reduzir a eficiência de aplicação, devido a perda de água por evaporação, antes mesmo que esta atinja a superfície do solo. Representantes da indústria de irrigação por aspersão indicam que 10 a 25 % da água que deixa o aspersor é perdida entre o bocal do aspersor e a cobertura vegetal (KHOL et alii, 1987).

COTRIM (1989), enfatiza que os primeiros trabalhos de perdas por evaporação foram conduzidos por CHRISTIANSEN (1942), que constatou perdas, para um único aspersor funcionando, na faixa de 10 a 40 % do total aplicado.

Segundo SILVA (1989), têm sido encontradas perdas



por evaporação de até 25 % ou mais, dependendo das condições atmosféricas e operacionais predominantes. Trabalhos de modelagem e simulação computacional têm mostrado que em ordem decrescente de importância, fatores como: temperatura da água, tamanho de gotas, umidade relativa do ar e altura de instalação do aspersor exercem efeito marcante na evaporação da água na irrigação por aspersão. A velocidade do vento, por outro lado, não tem sido considerada como fator muito importante exceto quando as gotas são muito pequenas, o que indica que ventos fortes arrastam essas gotas por distâncias maiores, aumentando o tempo de oportunidade para as mesmas sofrerem o processo evaporativo.

FROST & SCHWALEN (1955), determinaram perdas por evaporação em sistemas de irrigação por aspersão, e observaram que estas variavam de 3 % em condições de reduzido déficit de vapor no ar atmosférico e quase ausência de vento, até 10 % em condições evaporativas severas. Estas perdas foram intensificadas com o aumento da velocidade média do vento, temperatura e grau de pulverização do jato d'água, causado pelo aumento da pressão de operação e/ou redução do diâmetro dos bocais.

FRY et alii (1971), citados por OLITTA (1984), afirmam que as perdas por evaporação são desprezíveis em condições de baixa temperatura, alta umidade e condições de vento calmo, mas podem atingir de 10 a 12 % em solo nú e de 5 a 7 % em condições de clima quente e seco. Segundo DAKER (1984), estas perdas podem ser estimadas entre 2 a 8 % do volume de água que passa pelo aspersor.

COLOMBO et alii (1988), analisando o desempenho de sistemas de irrigação por aspersão pivô central em Guaíra-SP, concluíram que as pequenas diferenças observadas entre as lâminas aplicadas pelo equipamento em período noturno e diurno, indicaram que as perdas por evaporação eram inferiores a 2 %, para lâminas aplicadas entre 7 e 20 mm.

CLARK & FINLEY (1975), citados por NOGUEIRA (1987), encontraram perdas por evaporação menores que 10 % para velocidade do vento menor que 4,5 m/s. Estas perdas estavam relacionadas ao déficit de pressão de vapor e à velocidade



do vento. Acima deste valor, as perdas aumentaram exponencialmente com o aumento da velocidade do vento, para aproximadamente 30 %.

ASSIS (1990), realizando avaliação de sistemas de irrigação por pivô central de baixa pressão, considerando o espaçamento entre coletores de 6 m, concluiu que alta velocidade do vento, durante o dia, promoveu o arrastamento do jato d'água e distorção do perfil de distribuição, causando desequilíbrio na lâmina aplicada sobre o solo e, junto com a elevada temperatura ambiente e déficit de pressão de vapor, proporcionaram maiores perdas por evaporação.

ALI & BAREFOOT (1978), estudando a performance de sistemas de irrigação pivô central operando a pressões reduzidas concluíram que:

- altas pressões quando combinadas com elevadas velocidades de vento resultaram em maior distorção do modelo, e que a altas taxas de aplicação, o grau de distorção era menor;
- à pressões entre 1,34 e 2,78 Kgf/cm<sup>2</sup>, as perdas por evaporação eram as mesmas, mas à pressões maiores que 2,78 Kgf/cm<sup>2</sup>, elas aumentavam. Isto significava que as perdas por evaporação devido a um acréscimo na pressão poderia ser mantida em um mínimo se a pressão máxima de operação do sistema fosse limitada a 2,78 Kgf/cm<sup>2</sup>.

KELLER (1979), considera que as perdas causadas pela deriva do vento e evaporação assumem valores típicos variáveis entre 5 e 10 %.

Para VON BERNUTH & GILLEY (1984), dados de distribuição das gotas por tamanho a partir de aspersores agrícolas são úteis na predeterminação da evaporação, arrastamento pelo vento e efeito do impacto das gotas no solo. KOHL & DEBOER (1984), salientam ainda que a distribuição das gotas por tamanho é de interesse por duas razões: primeiro, velocidades do vento podem distorcer os modelos de aplicação (gotas menores são mais sensíveis ao vento); segundo, a influência do tamanho das gotas na sua energia cinética e seu impacto subsequente na superfície do solo podem modificar

as características de infiltração do mesmo.

Segundo SILVA (1989), um sério problema com respeito à uniformidade de distribuição em pivô central surge quando decide-se empregar tubos de descida. Nestes casos, uma melhoria na uniformidade depende do comprimento do tubo, da sua rigidez e do formato da placa difusora. Se a combinação entre esses parâmetros não for adequada, haverá problemas de superposição, de colisões de gotas e de instabilidade na aplicação devido às oscilações causadas pelo vento e pelo próprio movimento do pivô.

### 2.3.2 - Fatores não Climáticos

Além dos climáticos, outros fatores afetam a distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão. Eles podem ser agrupados em função do aspersor (diâmetro e ângulo do bocal, velocidade de rotação, pressão na saída do bocal, número e tipo de bocais), do sistema de distribuição (espaçamento entre aspersores e laterais, variações de pressão no sistema) e do manejo (velocidade de deslocamento da lateral em sistemas autopropelidos, alinhamento das laterais, alinhamento dos aspersores com a vertical) (PAIR, 1968).

DILLON et alii (1972), salientam que em sistema pivô central, por existirem muitas variações entre fabricantes, o espaçamento e diâmetros dos aspersores ao longo da lateral, a pressão requerida no ponto pivô e o tamanho da tubulação devem ser variados de modo a obter uma distribuição uniforme de água para sistemas de diferentes extensões e capacidades. A topografia do terreno, vazão dos aspersores e características do solo também devem ser considerados na avaliação.

Segundo AZEVEDO et alii (1983), uma vez que o aspersor aplica uma maior quantidade de água nas suas proximidades e menos na periferia de sua área molhada, a distân-



cia entre aspersores deve ser planejada de tal forma que haja uma correta sobreposição entre os jatos de um e de outros adjacentes, de modo a resultar numa melhor uniformidade.

BARRETO (1974), citado por BRIDI (1984), afirma que os fabricantes norte-americanos de aspersores aconselham 100 % de sobreposição dos jatos, o que equivale a dizer que o jato emitido por um aspersor deve atingir o seguinte, enquanto que os fabricantes europeus recomendam superposição dos jatos 25 a 30 % de seu raio de alcance.

Para SOLOMON (1979), pressão, espaçamento e diâmetro do bocal não podem ser considerados separadamente e a combinação ideal entre a pressão e o diâmetro do bocal dos aspersores resultará na distribuição correta da água, com tamanho de gotas adequado, em relação ao tipo do solo, planta e alcance dos jatos.

Segundo DAKER (1984), é importante estabelecer a pressão ideal de funcionamento do aspersor de modo a permitir uma melhor distribuição da água. HEERMANN & HEIN (1968), salientam que em sistemas convencionais, uma grande diferença de pressão pode causar considerável redução na uniformidade; entretanto em sistemas pivô central, a uniformidade da lâmina aplicada não é função somente da pressão, mas é também regulada pelo aumento no diâmetro e descarga do aspersor, proporcionalmente ao incremento na área com o aumento da distância radial do ponto pivô.

VON BERNUTH & GILLEY (1984), citam que à medida que a pressão aumenta, maior será a velocidade inicial das gotas, resultando num acréscimo nas distâncias de alcance. Além do mais a distribuição por tamanho das gotas conterà maior número de gotas pequenas, as quais são mais afetadas pelo vento.

Uma alternativa para o melhoramento da eficiência na aplicação de água, mais recentemente no mercado, é a sua distribuição a baixa pressão via "spray". Projetado para produzir gotas de tamanho pequeno e jogar a água diretamente para baixo, é uma grande inovação no que diz respeito à economia da água e menor influência do vento. Adicionalmente, o "spray" aplica água em faixas mais estreitas, tendo um melhor desempenho em terrenos relativamente planos. O aspersor tipo "spray" permite

a sua colocação logo acima da cultura, minimizando, assim, as perdas por evaporação e as causadas pelo arraste do vento (MARCHETTI et alii, 1986).

Os equipamentos de baixa pressão são desejáveis pelo seu menor consumo de energia, contudo a sua aplicação é restrita a solos de alta velocidade de infiltração (AZEVEDO et alii, 1983).

Uma menor área molhada associada aos "sprays" de baixa pressão requer, em consequência, um menor espaçamento entre aspersores. Isto, por sua vez, pode trazer ainda o inconveniente de possíveis colisões de gotas, provenientes de "sprays" adjacentes, resultando em regiões com intensa aplicação de água, reduzindo drasticamente a uniformidade de irrigação (SILVA, 1989).

Embora sistema pivô central de pressão reduzida, usando aspersores de impacto de baixa pressão ou "sprays" economize energia, seu uso pode causar aumento do potencial de escoamento superficial e erosão do solo, desuniformidade de aplicação da água e problemas associados ao manejo no sistema água-solo. A magnitude dos problemas variará de local para local, dependendo de fatores como tipo de solo, topografia, cultura e práticas culturais (GILLEY & MIELKE, 1980).

VON BERNUTH (1982), afirmou que ao diminuir-se a pressão de serviço dos sistemas, haverá aumento na taxa de aplicação devido à redução no raio molhado. PAIR (1968) e BERNARDO (1989), concordam que se a taxa de aplicação de água pelo aspersor é maior do que a taxa de infiltração do solo, ter-se-á acúmulo de água sobre a superfície do solo e a ocorrência de escoamento superficial, o que é incompatível com uma boa eficiência de irrigação.

Segundo JOHNSON et alii (1987), um número de fatores afetam o runoff durante a irrigação com pivô central. Estes incluem: tamanho e intensidade de fluxo do sistema, lâmina de aplicação, intensidade e tempo de aplicação d'água pelo aspersor e taxa de infiltração do solo. Para qualquer conjunto de condições, um acréscimo na área do sistema tem o efeito de elevar o potencial de runoff. Esses autores



avaliaram o efeito da área do sistema e aplicação do aspersor na quantidade de runoff para uma lâmina de aplicação de 30 mm em um solo com família de infiltração de 0,5 scs. "Sprays" de baixa pressão, os quais apresentam maiores taxas de aplicação, têm maior potencial para runoff do que aspersores de impacto de alta pressão. Neste exemplo, o runoff como porcentagem do total de água aplicado, variava de 0 a 6 % para espaçamento padrão de aspersores de impacto, e de 28 a 53 % para os bocais "sprays".

STILLMUNKES & JAMES (1982), citam que o runoff e a erosão são os principais problemas em solos que tendem a compactar-se quando irrigados por sistemas de aspersão. Nestes solos, tais problemas têm sido controlados com algumas práticas culturais com o objetivo de aumentar o armazenamento superficial durante o processo de infiltração.

HILLS et alii (1988), determinaram os coeficientes de uniformidade médios para laterais móveis com "sprays" montados em barras e em tubos de descida (pendurais), e observaram que neste último ocorria runoff para taxas de aplicação relativamente altas. Os "sprays" montados em barras, "sprays boom", no entanto, eliminavam runoff para lâminas semelhantes de água aplicada.

GILLEY (1981), salienta que o potencial de runoff também está relacionado com a declividade do terreno, ou seja, à medida que a declividade aumenta, a capacidade de armazenamento de água na superfície do solo é reduzida e, como consequência, observa-se a ocorrência de elevado escoamento superficial.

GUERRA (1988), avaliando a irrigação por pivô central no Serviço de Sementes Básicas da EMBRAPA, verificou a existência de escoamento superficial nos extremos do equipamento e em áreas com pronunciada declividade; em muitos casos esta água escoava pelas marcas deixadas pelos pneus indo depositar-se nas partes mais baixas da área irrigada ou escoava para fora desta.

De acordo com EDLING (1979), sistemas pivô central são projetados para apresentar uma melhor uniformidade de aplicação quando a superfície do solo está em nível. Segun-

do o autor, uma uniformidade aceitável do sistema, provavelmente, não pode ser alcançada à baixas pressões, quando a inclinação do terreno é maior que 5 %. A redução na uniformidade surge como um resultado do aumento na variação da vazão do aspersor, como consequência da variação da pressão, o que pode ocorrer devido às diferenças na elevação do terreno (VON BERNUTH, 1982). Esta variação é mais crítica para sistemas de baixa pressão, por representar uma grande porcentagem da pressão do pivô. Reguladores de pressão podem evitar essa variação, se forem instalados em todo aspersor ou "spray" em operação no sistema (GILLEY & MIELKE, 1980).

MERRIAM & KELLER (1978), enfatizam que se o sistema pivô central estiver operando sobre terreno com declividade e não for equipado com reguladores de pressão, a uniformidade de distribuição variará de acordo com a posição da lateral. O valor da uniformidade será praticamente constante em todas as áreas irrigadas, desde que a diferença de elevação entre o ponto central e a extremidade não ultrapasse 20 % da pressão no último aspersor.

VON BERNUTH (1982), encontrou que em um sistema pivô central de média pressão (4,7 kgf/cm<sup>2</sup>) o coeficiente de uniformidade era reduzido de acordo com a declividade do terreno. Foi observado que a redução no coeficiente de uniformidade conduzia ao aumento das perdas. Para aplicações de 80 % da média as perdas aumentavam de 6,2 % (declividade 0 % e coeficiente de uniformidade 94,8 %) para 38,9 % (declividade 7 % e coeficiente de uniformidade 67,6 %). Para aplicações de 95 % da média as perdas eram respectivamente de 10,9 a 68 %.

GILLEY (1981), recomenda o uso de reguladores de pressão em equipamentos pivô central, instalados em terrenos com diferença de nível maior do que 4,6 m, sob pena de ocorrer uma baixa uniformidade do sistema.

A influência da declividade do terreno na operação de sistemas pivô central foi determinada por EDLING (1979), pelo uso de um modelo matemático. Foi verificado que as vazões dos bocais ao longo da lateral do pivô eram mais afetadas pelas condições de inclinação do terreno do que a va-



ção da bomba. Uma variação de 14 % foi encontrada para o último bocal do sistema, quando o terreno apresentava uma inclinação uniforme de 7 %. Para aclives, o aumento na pressão da bomba, resultava num aumento da vazão do bocal próximo ao ponto pivô, no entanto ao longo da lateral essa influência era gradualmente reduzida, até que decréscimos relativos na vazão do bocal ocorriam em direção ao final da lateral. Efeito oposto ocorria para declives.

JAMES (1982), mediu a distribuição de pressão, a lâmina e uniformidade de aplicação em um sistema pivô central, durante diferentes passagens da lateral no terreno. Os resultados obtidos foram comparados com os calculados através do modelo matemático de KINCAID & HEERMANN (1970), expandido para considerar topografia variável. Foi observado que em todos os testes, a diferença média entre valores calculados e medidos para os testes com fluxo ascendente eram maiores do que para os testes correspondentes com fluxo descendente.

Um modelo de simulação por computador foi usado por JAMES & BLAIR (1984), para comparar o efeito do espaçamento do aspersor e topografia do terreno na performance de seis pivôs centrais. Sistemas com aspersores de impacto e com aspersores fixos tipo sprays de baixa pressão tiveram uniformidades maiores para espaçamentos constantes de 12 e 1,5 m respectivamente. O consumo de energia foi maior em terrenos em aclive. Sistemas com sprays consumiram 30 % menos de energia e tiveram taxas de aplicação médias e críticas mais altas do que os sistemas com aspersores de impacto.

JAMES (1984), analisando os efeitos da topografia, tipo de aspersor e seleção da bomba na performance de pivô central, observou que o uso de bombas de tamanho maior e aspersores de bocal fixo resultava em adequidades acima de 80 % para os terrenos estudados, exceto para os com aclives superiores a 5 %. Em geral, a adequidade é mais baixa em topografias com aclive onde a aplicação de água é menor, e mais alta em terrenos com declives, nos quais a aplicação de água é maior.



#### 2.4 - Parâmetros de Qualidade da Irrigação

A descrição e o conhecimento da distribuição de água sob o pivô central é de primária importância, pois define a qualidade da irrigação em termos de uniformidade e eficiência. Por outro lado a elevação dos custos com energia, a ocorrência de períodos secos e a preocupação em obter-se elevadas produtividades com a otimização do uso da água, conduzem o técnico em irrigação a projetar ou adequar áreas irrigadas pelo pivô central através de parâmetros que determinam a qualidade da irrigação ou a performance do sistema (LEME, 1986). Os principais parâmetros usados para indicar performance de um sistema são: a uniformidade de distribuição da água e a eficiência da aplicação potencial.

De acordo com GUERRA (1988), a determinação da uniformidade de distribuição permite apreciar a homogeneidade da aplicação de água sobre a área e verificar o funcionamento do pivô central. O ideal seria que, terminada a irrigação cada metro quadrado de solo tivesse recebido a mesma quantidade de água. Nesse caso a uniformidade de distribuição seria total (ROSA, 1988).

SANTOS et alii (1988), afirmam que nos sistemas do tipo pivô central, o movimento contínuo da linha lateral contribui para melhorar a uniformidade de distribuição da água, tornando-se importante parâmetro da eficiência desse sistema de irrigação.

Para FIETZ et alii (1989), variações na uniformidade podem resultar em sérios danos às culturas, seja no acúmulo sistemático do déficit hídrico e/ou através da lixiviação de nutrientes e ocorrência da erosão. A baixa uniformidade das lâminas de água sobre a área pode levar a resultados comprometedores reduzindo a eficiência de aplicação do sistema (CHRISTIANSEN, 1942; DAKER, 1984; BRIDI, 1984; ADDINK et alii, 1975).

PAIR (1968), cita que uma distribuição uniforme de água por sistemas de irrigação, é importante para maximizar a produção e qualidade da cultura, sendo também necessária



para um uso mais eficiente dos suprimentos de água disponíveis para irrigação.

RING & HEERMANN (1978), salientam que a uniformidade de aplicação de água é um parâmetro que pode ser usado para comparar sistemas. Baixas uniformidades resultam em áreas super e/ou sub-irrigadas. A fim de obter a mesma produção um sistema com baixa uniformidade deveria distribuir mais água, ou, por outro lado, se dois sistemas distribuem a mesma quantidade de água, o sistema com uniformidade mais alta, faria uso mais eficiente da água.

Em geral a uniformidade de distribuição é expressa em termos de coeficientes de uniformidade. De acordo com VON BERNUTH (1982), o coeficiente de uniformidade é um parâmetro pouco compreendido porque ele não é traduzido diretamente em termos com os quais um irrigante esteja familiarizado. Uma maneira de interpretar o coeficiente de uniformidade é observar como a quantidade de água perdida varia com este coeficiente. A fim de examinar a água perdida é necessário considerar que devido à variações na lâmina, algumas partes da área recebem mais água do que a média e outras recebem menos. Desse modo, é preciso bombear mais água para garantir que a área que recebeu menos do que a média, a receba em quantidade suficiente. Altos valores de coeficientes de uniformidade significam uma aplicação mais uniforme e menos perdas.

Os coeficientes de uniformidade podem ser divididos em duas categorias: ponderados e não ponderados (MAREK et alii, 1986). Coeficientes de uniformidade não ponderados têm sido utilizados principalmente para sistemas onde cada aspersor representa uma mesma área. Estes incluem: CHRISTIANSEN; WILCOX & SWAILES; BENAMI & HORE, etc.

Todas as medidas de uniformidade previamente discutidas são calculadas assumindo-se que cada coletor representa uma mesma área. Em sistemas pivô central, onde os coletores são dispostos radialmente a partir do ponto pivô, os valores armazenados nos coletores precisam ser ponderados, uma vez que cada ponto de captação irá representar área



maiores à medida que se afasta do ponto central. Portanto, cada valor coletado, em um determinado ponto, deve ser multiplicado por um fator relacionado com a distância deste ao ponto pivô, ou seja, pelo número de ordem dos recipientes, quando colocados em pontos equidistantes (MERRIAM & KELLER, 1978).

Segundo MAREK et alii (1986), coeficientes de uniformidade ponderados incluem o de HEERMANN & HEIN (1968) e a eficiência padrão do SCS (1982). A maior vantagem de cada coeficiente de uniformidade ponderado é a ênfase dada a determinados bocais que desviam-se substancialmente da média ponderada do sistema.

CORRY (1958), citado por OLITTA (1984); BERNARDO (1989); GRIFTIN (1978), citado por VORIES & VON BERNUTH (1986); FRY & GRAY (1969) e PERA (1971), citados por MEDEIROS FILHO et alii (1985), consideram como satisfatória uma uniformidade cujo coeficiente seja superior a 80 %.

BEALE & HOWELL (1966), comparando os vários coeficientes utilizados na avaliação da uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por aspersão, concluíram que o coeficiente de uniformidade proposto por CHRISTIANSEN (1942), foi considerado o mais satisfatório para medir a uniformidade de distribuição de água.

#### 2.4.1 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

Segundo HART & REYNOLDS (1965), o método comum para descrever a distribuição de água dentro de um modelo de aspersão é calcular o Coeficiente de Uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC), o qual baseia-se na soma dos desvios absolutos de cada observação em relação a observação média. O valor do CUC deveria corresponder à lâmina média requerida pela metade menos irrigada da área (KELLER, 1979).

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, desenvolvido por CHRISTIANSEN em 1942, serve como índice numérico para avaliar o desempenho do aspersor, sendo obtido



através de observações de campo das alturas de água captadas em recipientes estrategicamente dispostos a intervalos regulares dentro da área coberta.

A fórmula usada para o cálculo do CUC é:

$$CUC = 100 \left( \frac{1 - \sum \frac{|x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}}}{n} \right) \quad (1)$$

onde:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%)  
 $x_i$  = quantidade coletada em cada coletor (mm) ou (ml)  
 $\bar{x}$  = média das quantidades coletadas (mm) ou (ml)  
 $n$  = número de coletores medidos.

Se a distribuição é "perfeita" ou seja, todos os coletores contêm a mesma quantidade de água, o CUC será 100 %.

Desde que a superioridade de qualquer outra medida sobre o CUC não tem sido provada e uma vez que o mesmo é um método aceito na indústria, ele foi escolhido como base de comparação para avaliações da uniformidade (RING & HEERMANN, 1978).

HEERMANN & HEIN (1968), modificaram a equação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen para sistema pivô central, assumindo que o volume de água aplicado em cada sub-área era igual a lâmina multiplicada pela área representada por um coletor. Desse modo, a equação modificada pode ser escrita como:

$$CUC = 100 \left[ \frac{1,0 - \frac{\sum_{s=1}^N S_s}{N} \cdot \frac{\sum_{s=1}^N D_s \cdot S_s}{\sum_{s=1}^N S_s}}{\frac{\sum_{s=1}^N D_s \cdot S_s}{\sum_{s=1}^N S_s}} \right] \quad (2)$$

onde:

$S_s$  = distância de um ponto "s" qualquer ao centro de rota-

- ção do pivô (m)
- $D_s$  = lâmina total aplicada em um ponto a uma distância  $S$  do centro de rotação do pivô (mm)
- $s$  = índice que denota um ponto a uma distância  $S$  do centro de rotação do pivô
- $N$  = número total de pontos coletores.

COLOMBO et alii (1988), encontraram valores de CUC superiores a 80 %, para sistemas pivô central instalados em Guaíra-SP, indicando uma adequada uniformidade de aplicação de água.

HEERMANN & HEIN (1968), encontraram resultados de CUC para sistemas de alta pressão entre 87 e 90 %.

#### 2.4.2 - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

De acordo com SCALOPPI (1984), outra forma de se avaliar a uniformidade é através do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) atribuído a CRIDDLE et alii (1956), definido pela relação entre a quantidade média de água coletada na quarta parte (25 %) menos irrigada da área e a quantidade média de água coletada em toda área.

Segundo MERRIAM & KELLER (1978), o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição é calculado por meio da seguinte equação:

$$CUD = \frac{\bar{u}}{\bar{U}} \cdot 100 \quad (3)$$

onde:

CUD = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%)

$\bar{u}$  = lâmina média ponderada mínima ou das 25 % menores lâminas coletadas (mm)

$\bar{U}$  = média ponderada de todas as lâminas coletadas (mm)

A lâmina média ponderada mínima é igual à soma das 25 % menores lâminas coletadas ponderadas, divididas pela



soma do associado número de posições dos coletores. A escolha das 25 % menores lâminas é feita considerando-se medições não ponderadas.

A média ponderada de todas as lâminas coletadas é igual a soma de todas as lâminas ponderadas divididas pela soma dos números de posição dos coletores.

AZEVEDO (1978), citado por COTRIM (1989), trabalhando em sistema de irrigação do tipo pivô central, em região de cerrado, encontrou coeficiente de uniformidade de distribuição que variava dentro da faixa de 81 a 87 %.

BRIDI et alii (1986), encontraram valores de CUD entre 52 e 85 % para sistema pivô central operando a diferentes velocidades de rotação.

#### 2.4.3 - Eficiência de Aplicação Potencial (EAP)

Segundo BERNARDO (1989), a eficiência em potencial de aplicação de água é a estimativa da porcentagem do total de água aplicada na irrigação que atinge a superfície do solo e/ou as plantas. Na irrigação por aspersão ela estima a perda de água por evaporação e por arrastamento pelo vento, no trajeto das gotas d'água.

SOUZA & RIBEIRO (1984), afirmam que este parâmetro é um indicador da água aplicada em excesso no campo durante a irrigação, sem dar idéia da adequação quanto ao reabastecimento da zona das raízes.

Essa eficiência é de capital importância para o Nordeste e para as regiões cuja umidade relativa é muito baixa. Ela avalia como o sistema utiliza a água fornecida, a qual pode ser o total de perdas.

De acordo com a metodologia proposta por MERRIAM & KELLER (1978), a Eficiência de Aplicação Potencial (EAP) de um sistema de irrigação do tipo pivô central pode ser determinada, se o pivô for equipado com medidor de vazão, pelas seguintes expressões:

$$EAP = \frac{\bar{u}}{\bar{L}} \cdot 100 \quad (4)$$

onde:

EAP = Eficiência de Aplicação Potencial (%)

$\bar{L}$  = lâmina média aplicada por rotação (mm), que pode ser determinada por:

$$\bar{L} = \frac{T \cdot Q}{10 A} \quad (5)$$

onde:

T = tempo de rotação completa (h)

Q = vazão do sistema (m<sup>3</sup>/h)

A = área irrigada (ha)



### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Perímetro Irrigado Curú-Paraipaba, localizado no município de Paraipaba-Ce, à 90 km de Fortaleza, com coordenadas geográficas de 3°30' de latitude Sul e 39°15' de longitude Oeste. A região apresenta clima quente e úmido, as precipitações anuais médias são de 878 mm e distribuem-se de fevereiro a maio, sendo frequentes também chuvas nos meses de janeiro e junho. A temperatura média está em torno de 26 °C, e os períodos mais quentes coincidem, normalmente, com a estação seca compreendida entre julho e novembro. Segundo a classificação de Koeppen o clima da região é do tipo AW' quente e úmido, com amplitude térmica inferior a 5 °C.

#### 3.1 - Descrição do Sistema

O sistema de irrigação avaliado consta de um pivô central, da ASBRASIL, marca VALMATIC, de propriedade do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, e atualmente administrado pela VBA Consultores - Engenharia de Sistemas Hídricos Ltda. Suas especificações técnicas constam na Tabela 1.

O pivô central compõe-se de uma tubulação de aço zincado à fogo, que com soldas helicoidais e apoiada sobre torres providas de rodas, gira ao redor da torre central ou ponto pivô a uma altura livre do solo de 2,70 m. As torres acionadoras são constituídas de treliças de quatro pernas e uma viga base de aço zincado, formando um triângulo de sustentação da tubulação.

Na viga base situam-se os motorreductores e reductores de rodas. Os motorreductores são compostos de um motor

Tabela 1 - Especificações técnicas do pivô

Características do equipamento	
- Marca .....	VALMATIC
- Modelo .....	4971 VSN/10-1156
- Propulsão .....	Elétrica
- Comprimento da tubulação .....	462,63 m
- Diâmetro da tubulação .....	168 mm
- Alcance total .....	488,63 m
- Nº de torres .....	10
- Nº de aspersores .....	144
- Distância entre torres:	
Vão inicial .....	45,89 m
Vãos intermediários .....	44,98 m
Vão final .....	44,90 m
Balanço .....	12,00 m
Características hidráulicas do sistema	
- Vazão necessária .....	262,5 m <sup>3</sup> /h
- Tempo de rotação completo com V=100 % .....	11,26 h
- Tempo de rotação completo com V=80 % .....	14,08 h
- Tempo de rotação completo com V=50 % .....	22,52 h
- Lâmina bruta por volta com V=100 % .....	3,94 mm
- Lâmina bruta por volta com V=80 % .....	4,93 mm
- Lâmina bruta por volta com V=50 % .....	7,88 mm
- Pressão no extremo da tubulação .....	1,75 atm
- Pressão no ponto-pivô .....	3,19 atm
- Altura manométrica total .....	7,60 atm



elétrico fabricado pela WEG, com rotor de 90 mm e 1,0 CV de potência, acoplados a um redutor tipo rosca - sem - fim, que através de um eixo "cardan" transmitem seu movimento aos redutores de roda, também do tipo rosca-sem-fim.

Os pneus utilizados no pivô central, do tipo trator, são montados de modo a permitir a reversão do movimento, sem diminuir a tração.

A velocidade de rotação do sistema é regulada no painel principal, localizado no ponto pivô. Nele controla-se o movimento da última torre e, a partir desta, as demais são controladas pelas caixas elétricas intermediárias situadas em cada uma das torres, num movimento sequencial.

O sistema de segurança, permite o desligamento automático de todo o conjunto, em caso de deficiência eletromecânica, evitando, assim, danos na estrutura do equipamento, bem como uma irrigação excessiva, prejudicial às culturas e solos.

O pivô central apresenta canhão final, acionado através de uma bomba de reforço (booster), a qual é ligada ao painel de controle do equipamento.

Foram instalados no sistema tubos de descida de PVC de baixa densidade e com 1,70 m de comprimento, conectados em uma extremidade à linha lateral, através de luvas também de PVC, rosqueadas, e na outra aos reguladores de pressão e aspersores fixos tipo "spray" com pressão de serviço de 1,4 kgf/cm<sup>2</sup>, com distribuição de 360 °C e espaçados de 3,2 m. Após essa adaptação, os aspersores passaram a operar de "ponta cabeça" a uma altura média de 80 cm da superfície do solo.

A água fornecida ao sistema é captada a partir do rio Curú e bombeada para a área irrigada, através de uma adutora de 948 m, por meio de eletrobomba. As características específicas referentes à eletrobomba encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Características do motor elétrico e bomba centrífuga.

Motor elétrico	
- Marca .....	WEG
- Modelo .....	IP-54
- Potência nominal .....	125 CV
- Número de fases .....	03
- Frequência .....	60 Hz
- Rotação .....	1.750 rpm
Bomba centrífuga	
- Marca .....	KSB
- Modelo .....	ETANORM 125-400
- Nº de estágios .....	01
- Diâmetros de rotores .....	399 mm
- Vazão nominal .....	262,5 m <sup>3</sup> /h
- Pressão nominal .....	76 mca
- Rotações .....	1.750 rpm
- Rendimento .....	75 %
- Potência .....	98,5 CV



### 3.2 - Metodologia de Avaliação do Sistema

Os testes foram realizados em área mista, cultivada com feijão, algodão, melancia, aspargo e abacaxi.

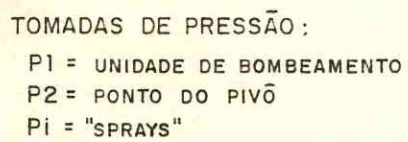
Para avaliação da performance do sistema, determinaram-se os seguintes parâmetros: Coeficientes de Uniformidade de Distribuição de Água (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Eficiência de Aplicação Potencial (EAP). Estes parâmetros foram estimados por meio do método clássico, citado por MERRIAM & KELLER (1978), o qual consiste em coletar as precipitações por meio de linhas de pluviômetros distribuídas radialmente a partir do ponto pivô. Essas linhas ou raios, são perpendiculares entre si.

Em sua concepção original, o método empregava quatro raios ou linhas de pluviômetros. Nesse estudo, conforme recomendação de ASSIS (1990), utilizou-se somente dois raios, dispostos perpendicular e paralelamente à direção do vento, chamados, respectivamente, de raio 1 e raio 2 (Figura 1).

Nos testes, 156 recipientes metálicos, cilíndricos (latas de óleo lubrificante) com capacidade de 1 litro e diâmetro médio de 9,85 cm, foram utilizados como pluviômetros. Estes foram distribuídos ao longo dos dois raios, espaçados de 6 m a partir de 12 m do ponto pivô e numerados em ordem crescente, de modo a permitir o cálculo dos coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação de água do sistema para três valores diferentes de espaçamento, quais sejam: 6, 12 e 18 m.

Para evitar interferência na coleta de precipitação, a área de captação dos coletores ou pluviômetros foi mantida, através de estacas, a uma distância de 50 cm da superfície do solo.

Para cada raio foram utilizadas 78 estacas de madeira com 80 cm de comprimento, 78 pluviômetros e 78 ligas de borracha de câmara de ar de automóvel para fixação dos coletores às estacas. Estas foram cravadas no solo a uma profundidade de 30 cm de maneira a assegurar uma boa estabilidade e nivelamento da seção de coleta e permitir uma



tes de campo.



distância de aproximadamente 30 cm entre a borda superior dos pluviômetros e os aspersores (Figura 2).

O volume de água coletado em cada pluviômetro, foi medido o mais rápido possível, tão logo o pivô deixava de aplicar água no pluviômetro, para evitar o efeito da evaporação. Para tal, fez-se uso de uma proveta de 100 ml e, quando necessário, outra de 50 ml com graduação de 1 e 0,5 ml, respectivamente.

Como representavam áreas maiores, à medida que aumentava a distância do ponto pivô, os volumes coletados nos pluviômetros, conforme recomendação de MERRIAM & KELLER (1978), foram ponderados, isto é, multiplicou-se o volume coletado pelo número correspondente à sua posição.

Para a determinação da água evaporada nos pluviômetros, durante o período de cada teste, foi separado, ao início do teste, um coletor com um volume de água conhecido (100 ml), e mantido próximo à área experimental. Estimou-se a evaporação através da diferença no volume de água, medido no início e no final da precipitação aplicada nas linhas de pluviômetros.

A regulação da velocidade de deslocamento do sistema era feita no painel de controle do pivô, através de relê percentual. O sistema foi testado com três velocidades percentuais: 50, 80 e 100 %. Para cada velocidade foram realizados três testes, sendo que cada teste consistia da coleta de precipitações nos dois raios, para as três velocidades estudadas.

O tempo de início e o final de cada teste, foi determinado pelo início e término da aplicação de água nos pluviômetros da extremidade.

O tempo de molhamento na extremidade foi tomado do último "spray" do balanço, com uso de um cronômetro, medindo-se o tempo que o sistema leva para irrigar o último coletor.

A velocidade (V) de deslocamento da unidade propulsora da extremidade, durante os testes, foi determinada estabelecendo-se, com estacas, uma distância de 10 m ao longo da trilha da roda externa, para cada raio e cronometrando-

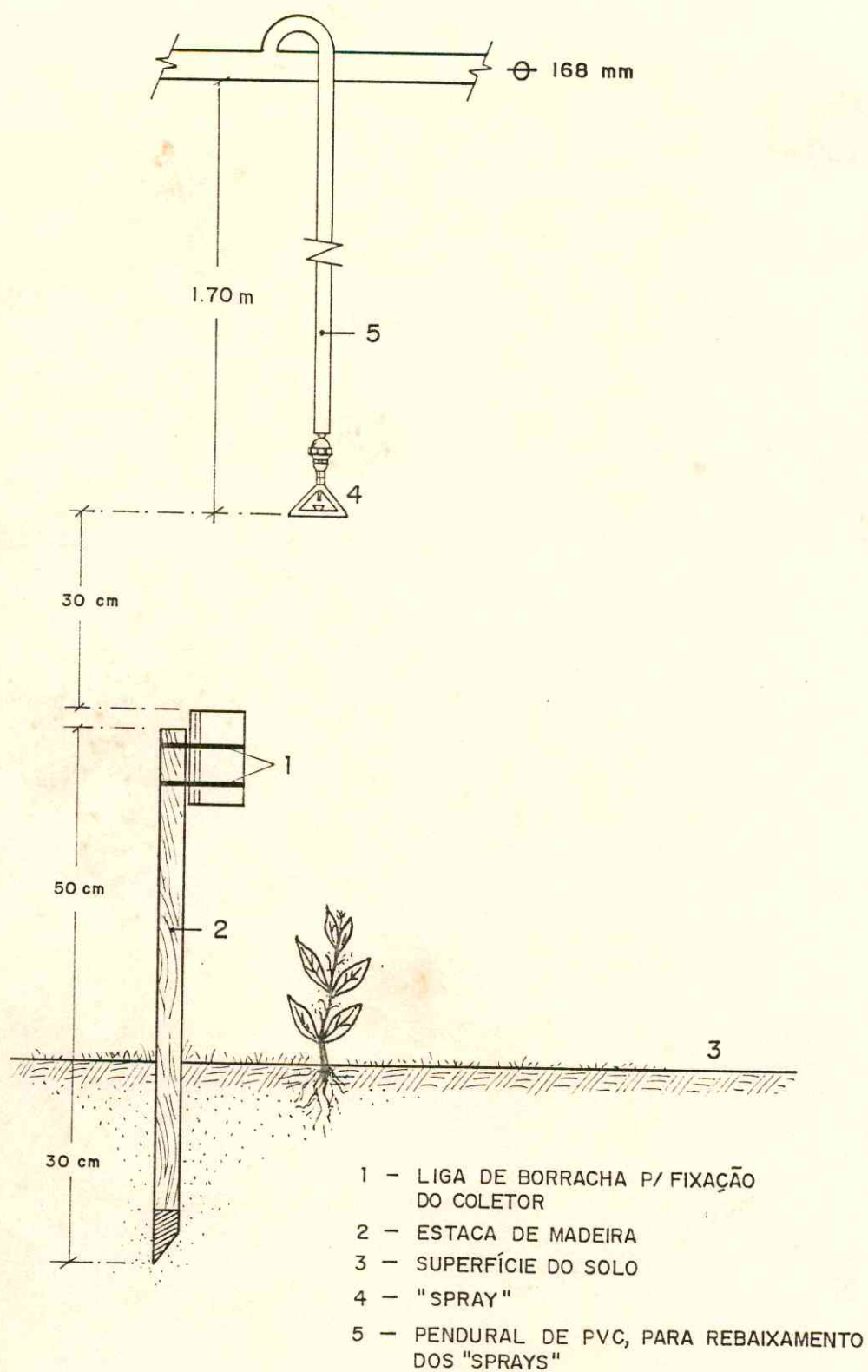


Figura 2 - Fixação dos coletores pluviométricos no campo.



se o tempo (t) necessário para que o equipamento fizesse o percurso entre as estacas. Como velocidade do sistema considerou-se a média aritmética dos raios.

Para calcular o período de tempo (T) necessário para que o sistema completasse uma revolução, dividiu-se o perímetro da circunferência, descrito pela roda externa, pela velocidade da unidade propulsora da extremidade.

O tempo de molhamento na extremidade, o tempo e velocidade de rotação, parâmetros representativos do sistema, foram obtidos pela média aritmética das medidas feitas nos dois raios que compõem cada teste.

A área total irrigada foi determinada considerando-se a soma do comprimento total do pivô, fornecido pelo fabricante, ao raio de alcance do canhão final, como raio irrigado.

Na transformação do volume coletado nos pluviômetros (ml) em lâmina (mm), dividiu-se esse volume pela área de captação do pluviômetro de 76,2 cm<sup>2</sup>.

Para obtenção da lâmina total média aplicada pelo sistema ( $\bar{L}$ ), somou-se a lâmina média ponderada ( $\bar{U}$ ), coletada para todos os pluviômetros, à evaporação média (Ev) durante os testes, pela seguinte expressão:

$$\bar{L} = \bar{U} + Ev \quad (6)$$

MERRIAM & KELLER (1978), recomendam a estimativa da vazão do sistema pela seguinte expressão, uma vez que o mesmo não está equipado com medidor de vazão:

$$Q_e = \frac{10 A \bar{L}}{T} \quad (7)$$

onde:

$Q_e$  = vazão estimada do sistema (m<sup>3</sup>/h);

A = área irrigada (ha);

$\bar{L}$  = lâmina total média aplicada pelo sistema (mm);

T = tempo de rotação completo do pivô (h).

Em cada área de teste procurou-se detectar a ocor-

rência de problemas como: escoamento superficial, vazamentos, etc. Também verificou-se a conformidade das instalações em relação aos dados fornecidos pelo fabricante, principalmente no que se refere à disposição dos aspersores ao longo do pivô, espaçamento entre torres e unidade de bombeamento. As demais informações como vazão unitária, tipo de aspersor e pressão de serviço, foram tiradas diretamente da folha de montagem dos fabricantes (Anexo 04).

As condições ambientais de temperatura e umidade do ar no local onde os testes foram conduzidos, bem como a velocidade e direção predominantes do vento, foram obtidos na estação agrometeorológica situada nas proximidades.

Para acompanhamento da pressão de operação do sistema, utilizou-se um manômetro de Bourdon, graduado em  $\text{Kgf/cm}^2$ , acoplado à tubulação de recalque, junto ao ponto-pivô.

Após determinados testes, media-se a pressão na saída de alguns "sprays", selecionados aleatoriamente ao longo do sistema, utilizando-se um manômetro com graduação de  $0,2 \text{ Kgf/cm}^2$  e equipado com pitot. Fez-se isso para verificar se as condições de operação do sistema estavam de acordo com as especificadas no projeto.

Foram calculados os Coeficientes de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o de Christiansen (CUC) e Eficiência de Aplicação Potencial (EAP), para cada raio e espaçamentos de: 6, 12 e 18 m, utilizando-se as equações 2, 3 e 4, com o objetivo de verificar as possíveis influências do espaçamento entre coletores e velocidade de operação do sistema na qualidade da irrigação.

Na análise da eficiência global do sistema e cálculo da uniformidade de distribuição, determinou-se a média aritmética dos dois pluviômetros instalados em pontos correspondentes ao longo dos dois raios.

A precipitação máxima aplicada foi estimada, empregando-se a equação citada por MERRIAM & KELLER (1978).



$$P_{\text{máx}} = \frac{75 \cdot \bar{U}}{T_m} \quad (8)$$

onde:

$P_{\text{máx}}$  = precipitação máxima aplicada (mm/h);

$T_m$  = tempo de molhamento na extremidade da lateral (min).

#### 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1 - Efeito do Espaçamento entre Coletores na Qualidade da Irrigação por Pivô Central.

De acordo com as Tabelas 3 e 4, observa-se que, de modo geral, houve uma variação reduzida nos valores dos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficientes de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Eficiência de Aplicação Potencial (EAP), para espaçamentos, entre coletores de 6 e 12 m. Aumentando-se o espaçamento para 18 m, percebe-se que as diferenças começam a tornar-se mais acentuadas.

No raio 1, conforme mostra a Tabela 3, os valores dos CUC são muito próximos para os três espaçamentos estudados. No entanto, ao se analisar os resultados dos CUD e EAP, verifica-se que estes, para espaçamento de 18 m, são, na maioria dos testes, inferiores aos demais.

No raio 2, (Tabela 4), nota-se que, para espaçamentos de 6 e 12 m, os coeficientes apresentam comportamento semelhante ao do raio 1. Entretanto, os valores de CUC, CUD e EAP, obtidos com 18 m, são ligeiramente superiores àqueles alcançados nos espaçamentos anteriores indicando que, neste raio, a utilização de espaçamentos muito elevados implicará, provavelmente, em parâmetros de qualidade da irrigação maiores que os reais.

A super ou subestimação dos coeficientes para maiores espaçamentos, pode ser atribuída à eliminação, durante o processo de coleta, das contribuições de aspersores com defeito e/ou com precipitações que difiram bastante da média, o que conduz a interpretações errôneas à respeito da uniformidade de distribuição na área irrigada.

Os valores médios dos CUC, CUD e EAP do sistema,



Tabela 3 - Resultados do CUC, CUD e EAP do raio 1, para espaçamentos entre coletores de 6, 12 e 18 m.

Regulagem da velocidade (%)	No do teste	Espaçamento (m)								
		6			12			18		
		CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)	CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)	CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
50	01	74,03	65,97	64,63	74,22	67,01	65,74	72,44	55,71	54,50
	02	74,00	62,84	61,75	72,63	68,66	67,52	71,53	55,06	54,06
	03	79,39	68,71	67,43	78,88	71,88	70,61	77,82	58,60	57,45
80	01	68,91	46,37	45,62	70,82	52,86	51,99	69,55	42,57	41,91
	02	69,44	56,84	54,28	72,60	60,96	58,16	72,87	61,36	58,70
	03	66,35	50,63	49,28	66,42	52,26	50,84	77,48	50,75	49,38
100	01	71,41	56,91	52,42	74,14	54,52	50,15	77,79	59,88	55,49
	02	73,82	63,26	62,66	73,33	64,98	64,33	70,33	57,96	57,41
	03	70,02	56,66	56,13	69,96	56,09	55,56	61,39	51,95	51,49

Tabela 4 - Resultados do CUC, CUD e EAP do raio 2, para espaçamentos entre coletores de 6, 12 e 18 m.

Regulagem da velocidade (%)	Nº do teste	Espaçamento (m)								
		6			12			18		
		CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)	CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)	CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
50	01	64,46	49,34	47,54	66,46	46,85	45,21	68,39	59,73	57,67
	02	67,58	48,09	47,26	69,79	50,20	49,34	69,33	56,13	55,18
	03	64,97	48,12	48,12	62,42	47,77	47,77	73,69	67,63	67,63
80	01	67,09	47,10	46,77	68,61	49,10	48,78	75,80	50,23	49,89
	02	64,15	44,69	42,05	59,12	42,21	39,73	72,99	55,16	51,77
	03	68,07	54,43	54,43	69,79	57,57	57,57	74,15	60,86	60,86
100	01	59,67	37,06	35,45	59,11	36,79	35,26	57,69	40,97	39,32
	02	65,15	40,82	39,09	66,85	45,79	43,87	65,32	45,42	43,51
	03	59,20	38,05	36,45	61,88	37,13	35,63	68,82	45,10	43,26



determinados pela utilização da lâmina média coletada nos dois raios e obtida a partir de pluviômetros de mesmo número de posição, encontram-se na Tabela 5. Constata-se que, para os três espaçamentos estudados, os valores desses coeficientes mantiveram-se muito próximos, o que pode indicar que a distância entre pontos de coleta não exerceu influência marcante nos resultados dos parâmetros indicadores do desempenho do sistema. Todavia, ao se considerar a média cíclica na área, calculada a partir da média aritmética das lâminas coletadas para os três testes de mesma velocidade de operação, verifica-se que existe uma tendência à elevação dos coeficientes, à medida que se aumenta o espaçamento para 18 m.

Os resultados anteriores se opõem àqueles encontrados por RING & HEERMANN (1978), os quais, realizando comparações de espaçamentos entre coletores, concluíram que estes poderiam ser variados de 6 a 18 m sem afetar os resultados. No entanto, os autores salientaram que este resultado era um tanto surpreendente. Recomendaram, ainda, que mudanças em um sistema visando aperfeiçoar sua operação, podem ser melhor conduzidas, se for usado um espaçamento menor que 18 m, mesmo que os valores resultantes de CUC não sejam significativamente diferentes.

Analisando-se, ainda, as tabelas anteriores, vê-se que, em todos os espaçamentos estudados, os valores dos CUC foram sempre superiores aos CUD. A explicação deve-se ao fato da equação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) levar em consideração a média de 25 % do total de pluviômetros com as menores lâminas coletadas. Por outro lado, a equação de Christiansen considera a média das precipitações coletadas em todos os pluviômetros ao longo da lateral, sendo, portanto, estatisticamente mais representativa.

Comparando-se os parâmetros das Tabelas 5 e 6, constata-se que, para todos os espaçamentos e velocidades consideradas, os valores dos CUC, CUD e EAP do sistema, calculados a partir da média aritmética da lâmina coletada nos pluviômetros de mesmo número de posição nos dois raios,

Tabela 5 - Resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e média cíclica na área, para espaçamentos entre coletores de 6, 12 e 18 m.

Regulagem da velocidade (%)	Nº do teste	Espaçamento (m)								
		6			12			18		
		CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)	CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)	CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
50	01	73,67	60,76	58,96	74,63	61,96	60,22	73,16	60,70	58,91
	02	77,84	65,13	64,00	78,35	67,81	66,67	77,10	66,94	65,76
	03	74,93	64,84	64,31	74,52	64,85	64,34	78,00	68,28	67,72
80	01	74,53	56,88	56,22	78,12	60,74	60,05	80,14	59,73	59,06
	02	75,75	61,81	58,60	72,36	63,94	60,59	83,05	67,30	63,80
	03	73,14	60,43	59,66	73,71	60,26	59,49	79,78	66,60	65,75
100	01	74,98	62,80	58,79	72,10	60,20	56,43	78,17	65,52	61,65
	02	75,79	64,03	62,38	75,44	63,97	62,30	72,99	61,97	60,38
	03	70,54	59,35	57,86	70,11	60,97	59,43	70,03	58,13	56,71
50	Média cíclica	76,83	64,21	63,06	77,16	64,85	63,72	78,02	68,09	66,85
80	Média cíclica	78,01	65,60	63,86	76,74	67,58	65,78	85,46	73,08	71,15
100	Média cíclica	75,49	65,89	63,38	74,45	66,23	63,69	75,37	69,21	66,67



Tabela 6 - Resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e média cíclica na área, tomados a partir da média individual dos valores obtidos nos dois raios, para espaçamentos entre coletores de 6, 12 e 18 m.

Regulagem da Velocidade (%)	No do teste	Espaçamento (m)								
		6			12			18		
		CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)	CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)	CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
50	01	69,25	57,66	56,09	70,34	56,93	55,48	70,42	57,72	56,09
	02	70,79	55,47	54,51	71,21	59,43	58,43	70,43	55,60	54,62
	03	72,18	58,42	57,78	70,65	59,83	59,19	75,76	63,12	62,54
80	01	68,00	46,74	46,20	69,72	50,98	50,39	72,68	46,40	45,90
	02	66,80	50,77	48,17	65,86	51,59	48,95	72,93	58,26	55,24
	03	67,21	52,53	51,86	68,11	54,92	54,21	75,82	55,81	55,12
100	01	65,54	46,99	43,94	66,63	45,66	42,71	67,74	50,43	47,41
	02	69,49	52,04	50,88	70,09	55,39	54,10	67,83	51,69	50,46
	03	64,61	47,36	46,29	65,92	46,61	45,60	65,11	48,53	47,38
50	Média cíclica	70,74	57,18	56,13	70,73	58,73	57,70	72,20	58,81	57,75
80	Média cíclica	67,34	50,01	48,74	67,90	52,50	51,18	73,81	53,49	52,09
100	Média cíclica	66,55	48,80	47,04	67,55	49,22	47,47	66,89	50,22	48,42

são superiores àqueles determinados a partir da média dos valores individuais de cada raio. A elevação dos primeiros resultados em relação a estes últimos, deve-se ao fato de que as lâminas usadas na sua determinação foram tomadas a partir da média aritmética de dois pontos, apresentando, portanto, uma menor amplitude de variação em relação aos dados individuais. Desse modo, menores desvios médios e maiores valores para os parâmetros são alcançados.

Traçaram-se gráficos (Figuras 3 a 11) da lâmina aplicada versus distância ao centro do pivô, como o objetivo de melhor visualizar o perfil de distribuição da lâmina média aplicada ao longo da lateral. Os gráficos foram confeccionados a partir dos dados referentes à média cíclica na área, para espaçamentos de 6, 12 e 18 m e velocidades de operação de 50, 80 e 100 %. Nas figuras aparecem pontos com precipitação abaixo da média e outros bem acima, o que desuniformiza a distribuição de água na área irrigada. Percebe-se, ainda, que à medida que aumenta-se o espaçamento, há um menor número de pontos mais e/ou menos distanciados da média. Este fato pode ser confirmado pelas Figuras 9, 10 e 11, nas quais não aparecem algumas das lâminas excessivas e deficientes que ocorrem na área, principalmente aquelas localizadas nas extremidades do equipamento, região crítica de ocorrência de escoamento superficial.

Valores de lâmina média coletada, lâmina média aplicada e lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas, no sistema e média cíclica na área e, considerando-se espaçamentos de 6, 12 e 18 m, são apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9. Em todos os espaçamentos, a lâmina aplicada era inferior à de projeto, o que significa que o sistema estava operando mais rapidamente do que especificava o fabricante.



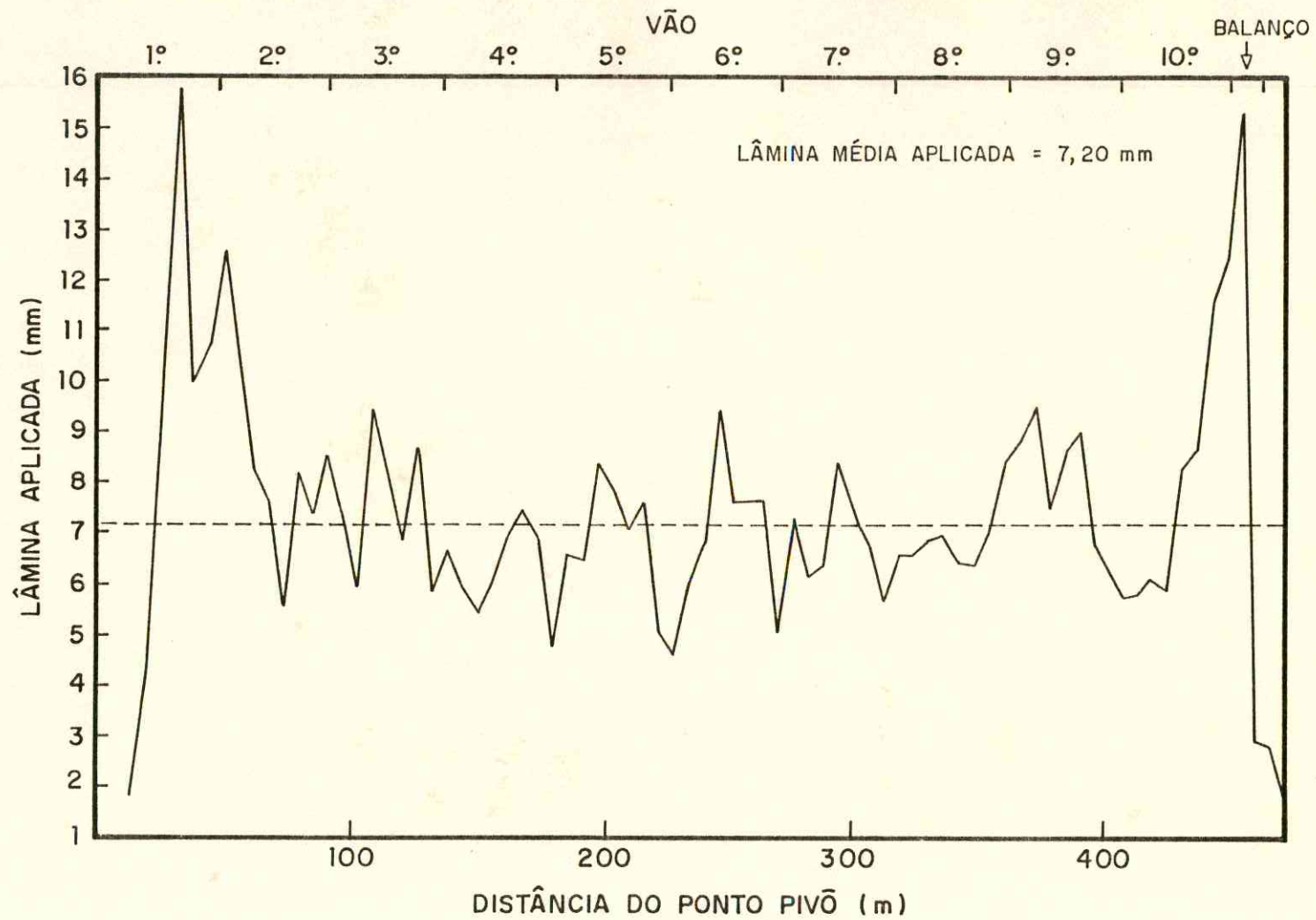


Figura 3 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 50 % e espaçamento de 6 m entre coletores.

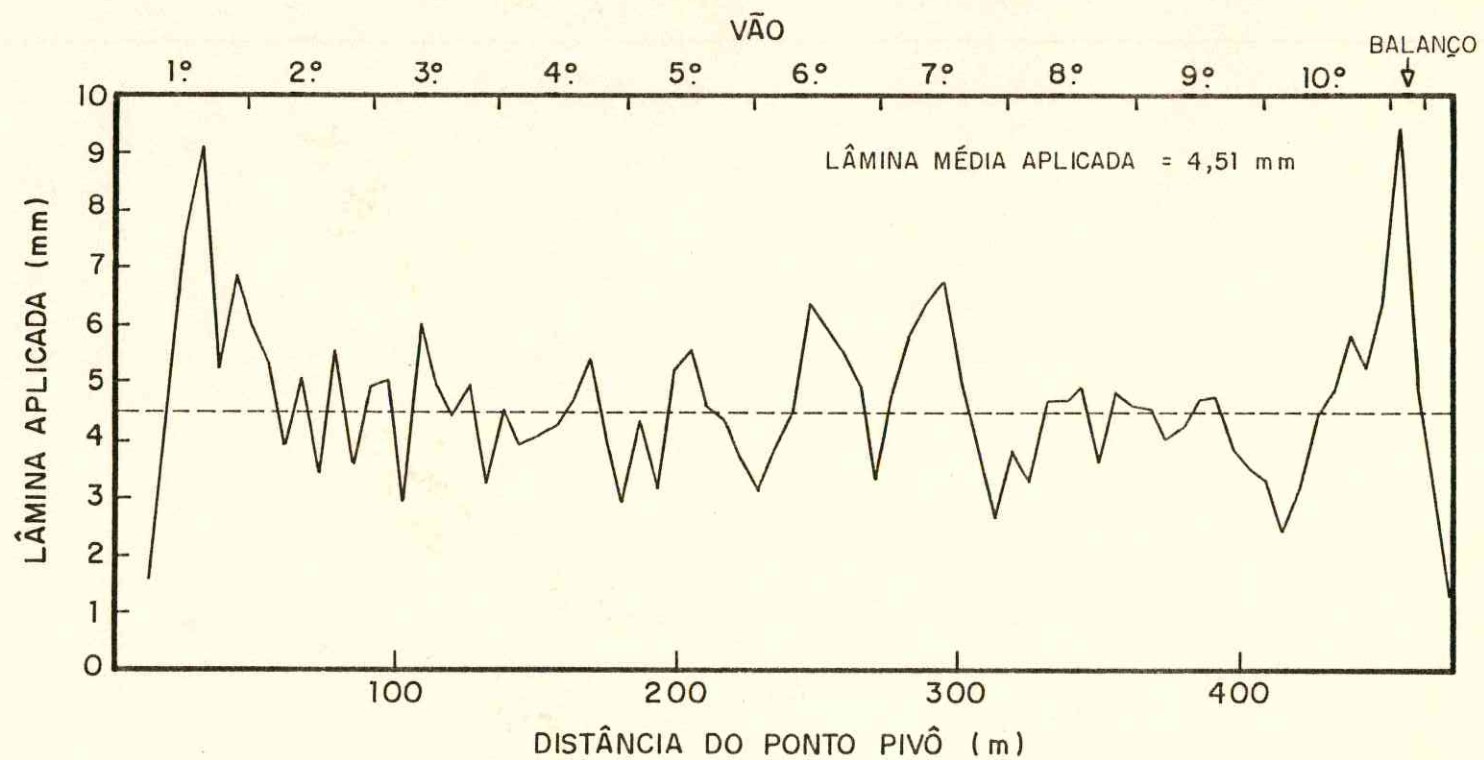


Figura 4 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 80 % e espaçamento de 6 m entre coletores.



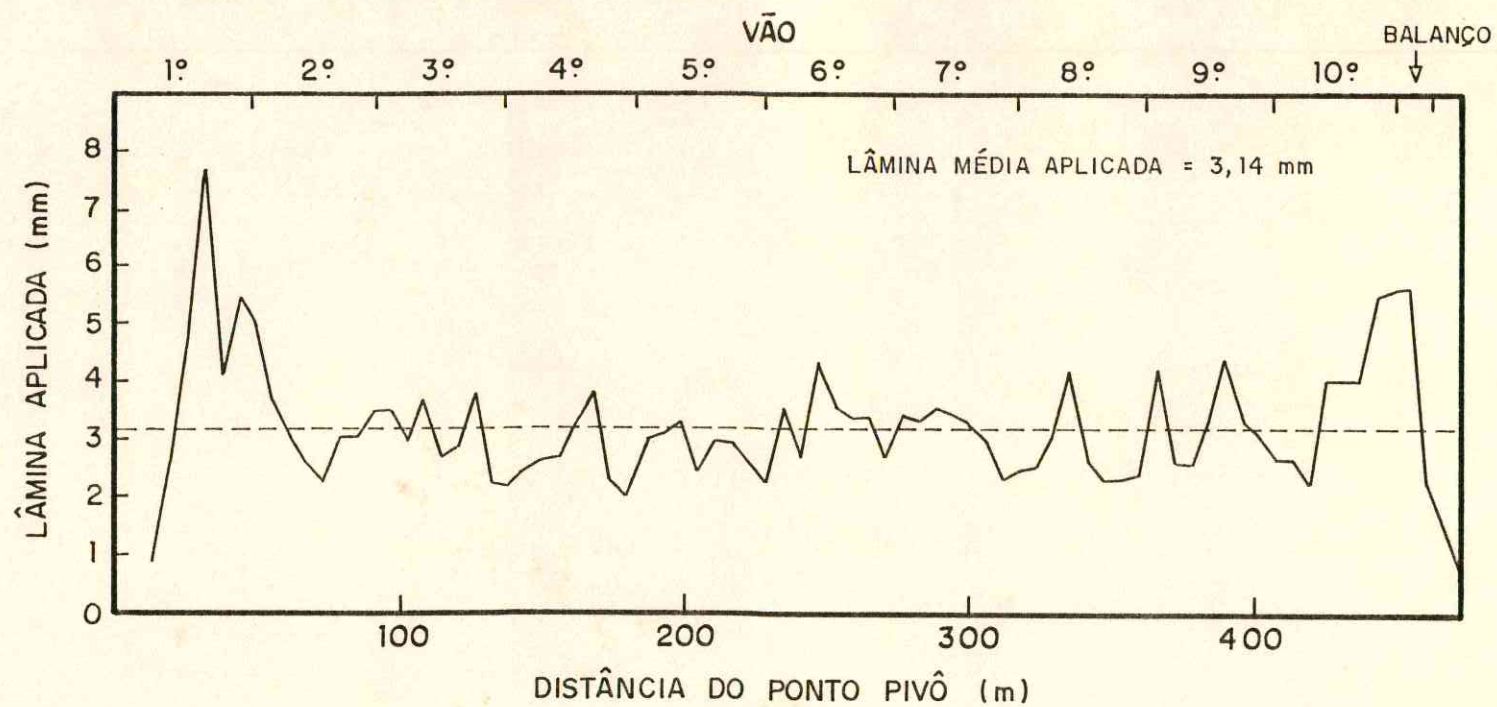


Figura 5 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 100 % e espaçamento de 6 m entre coletores.

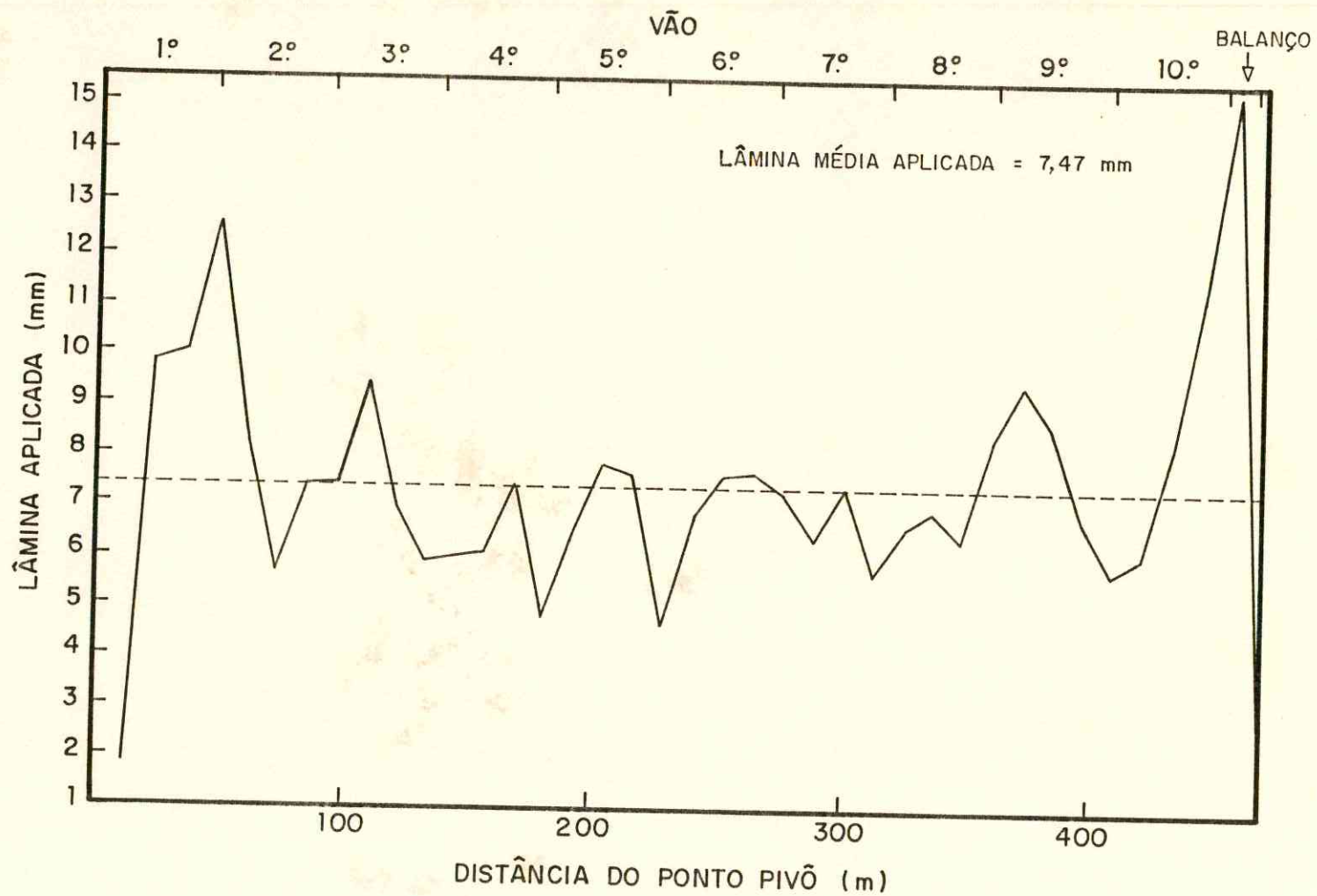


Figura 6 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de de operação 50 % e espaçamento de 12 m entre coletores.



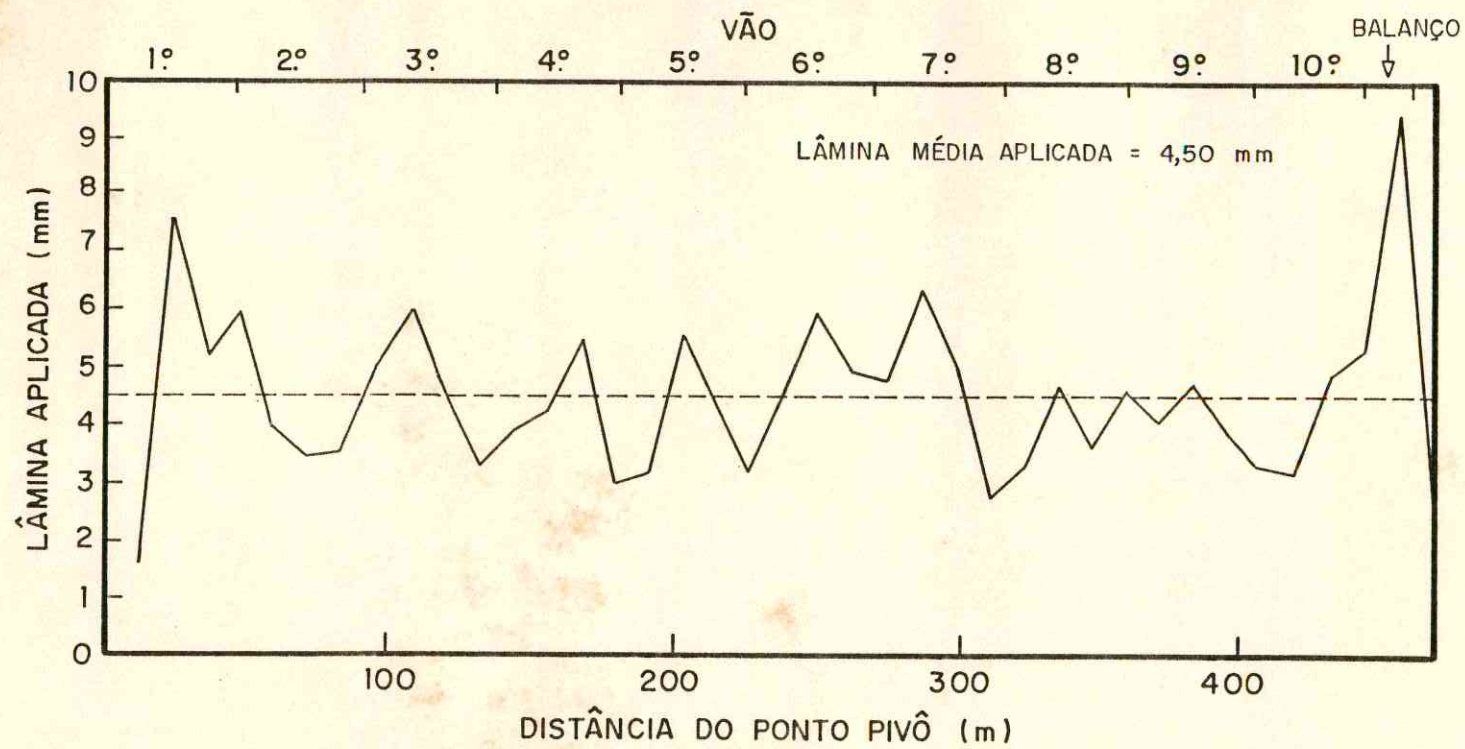


Figura 7 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 80 % e espaçamento de 12 m entre coletores.

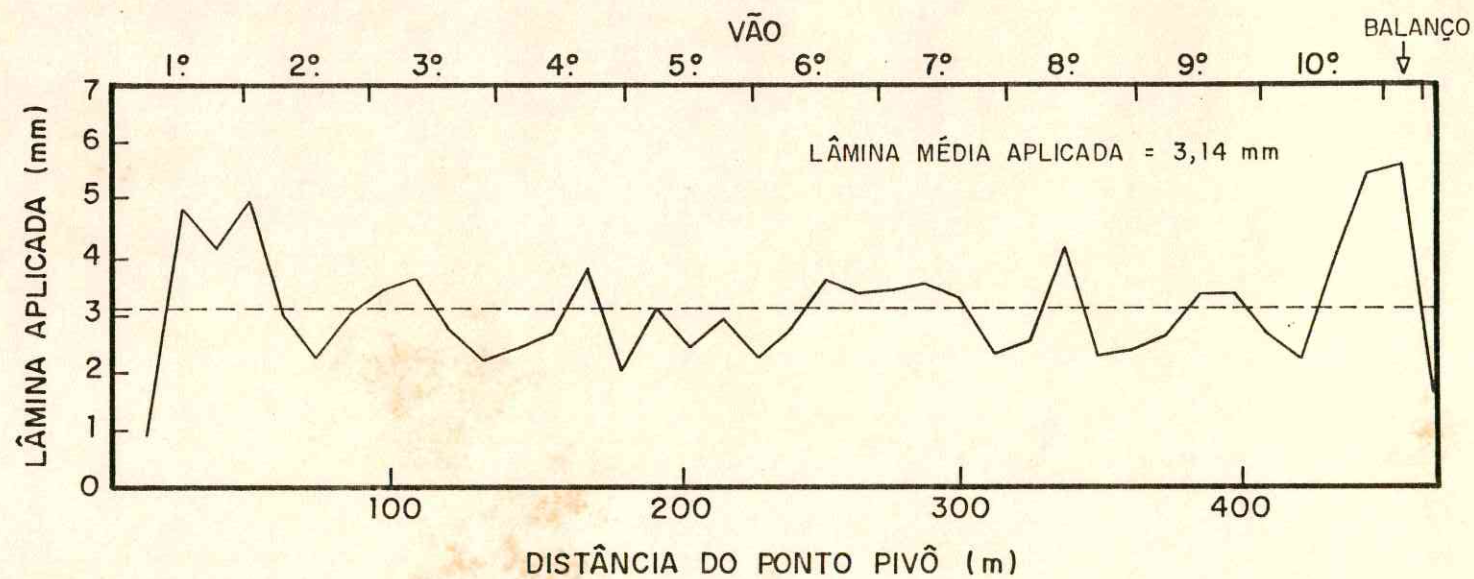


Figura 8 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 100 % e espaçamento de 12 m entre coletores.



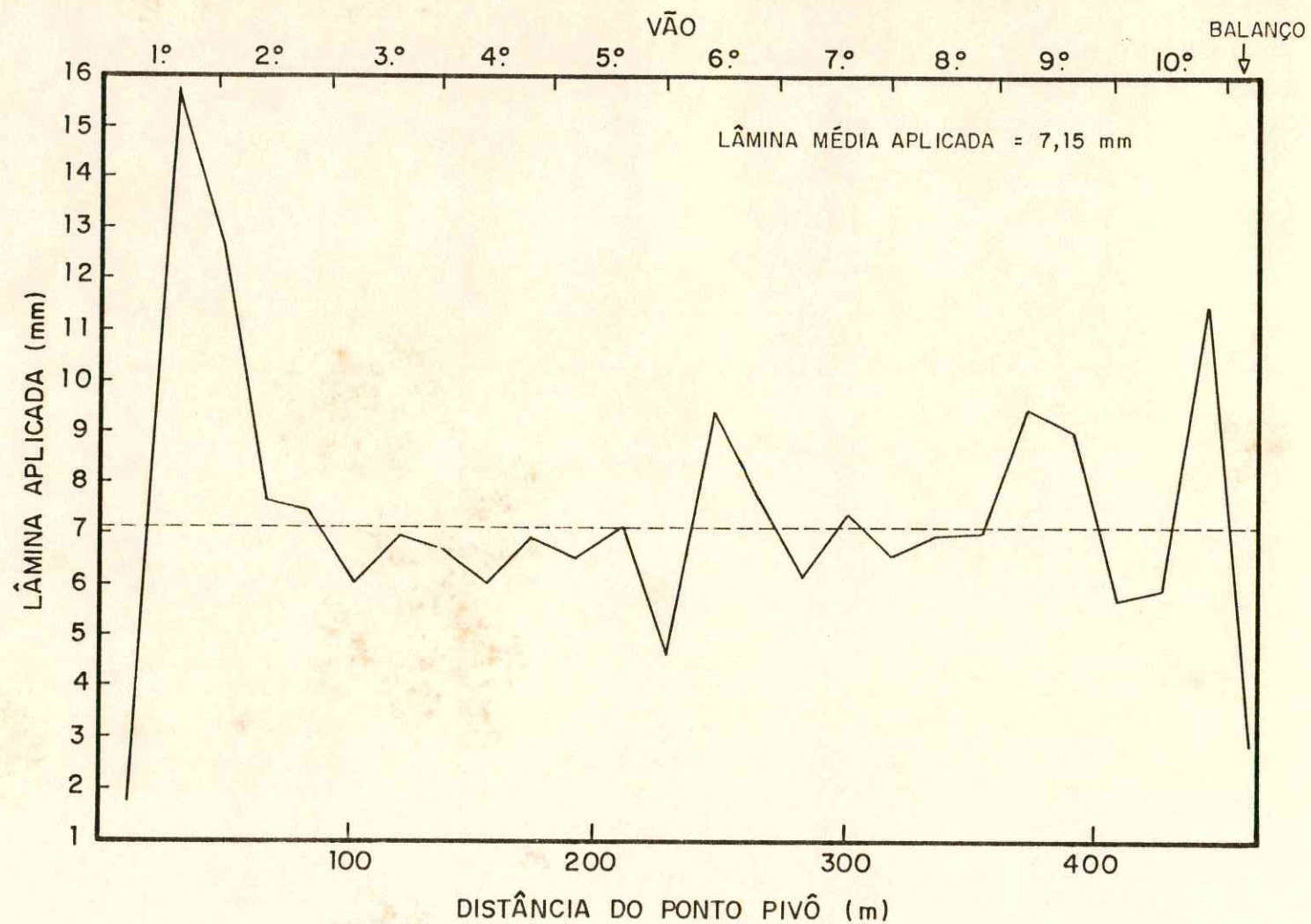


Figura 9 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 50 % e espaçamento de 18 m entre coletores.

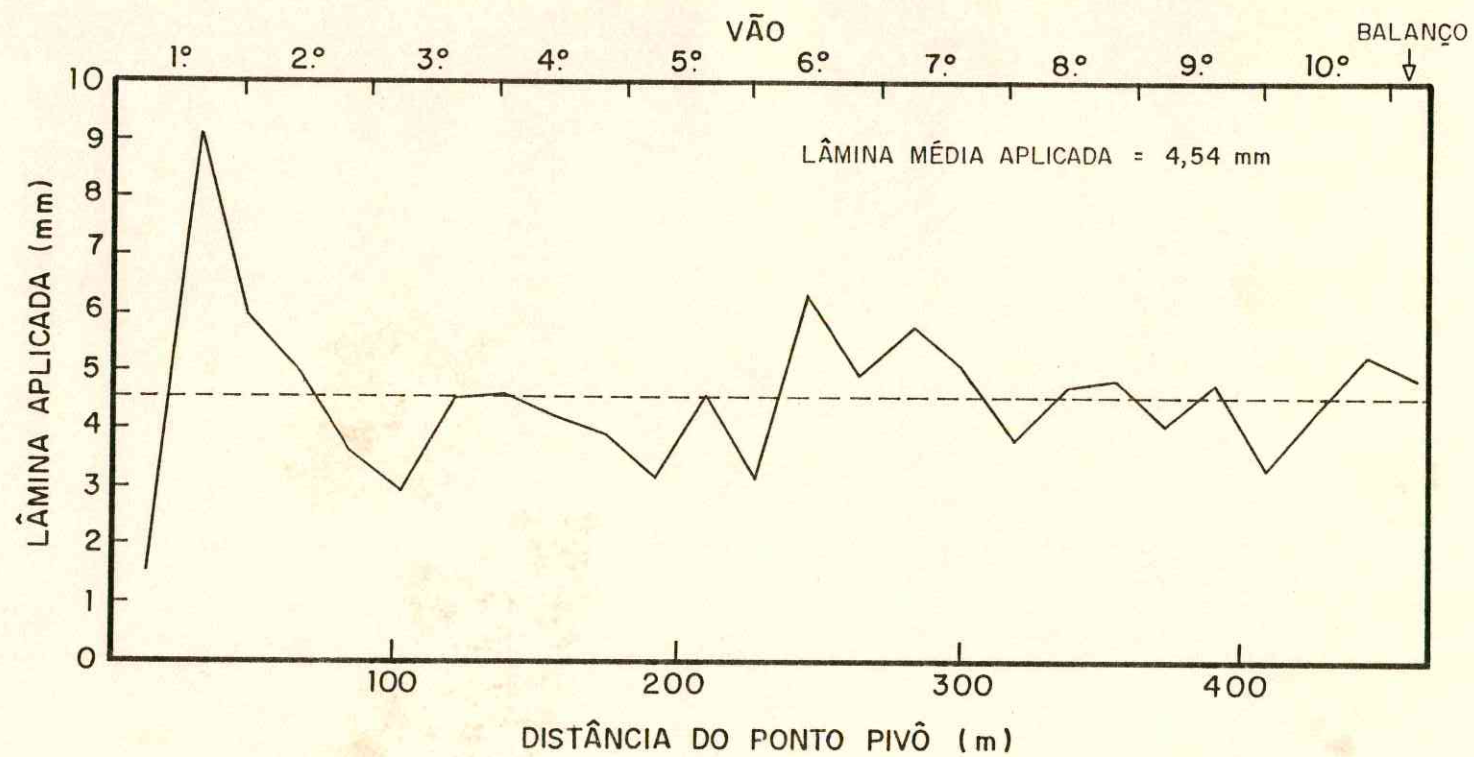


Figura 10 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 80 % e espaçamento de 18 m entre coletores.



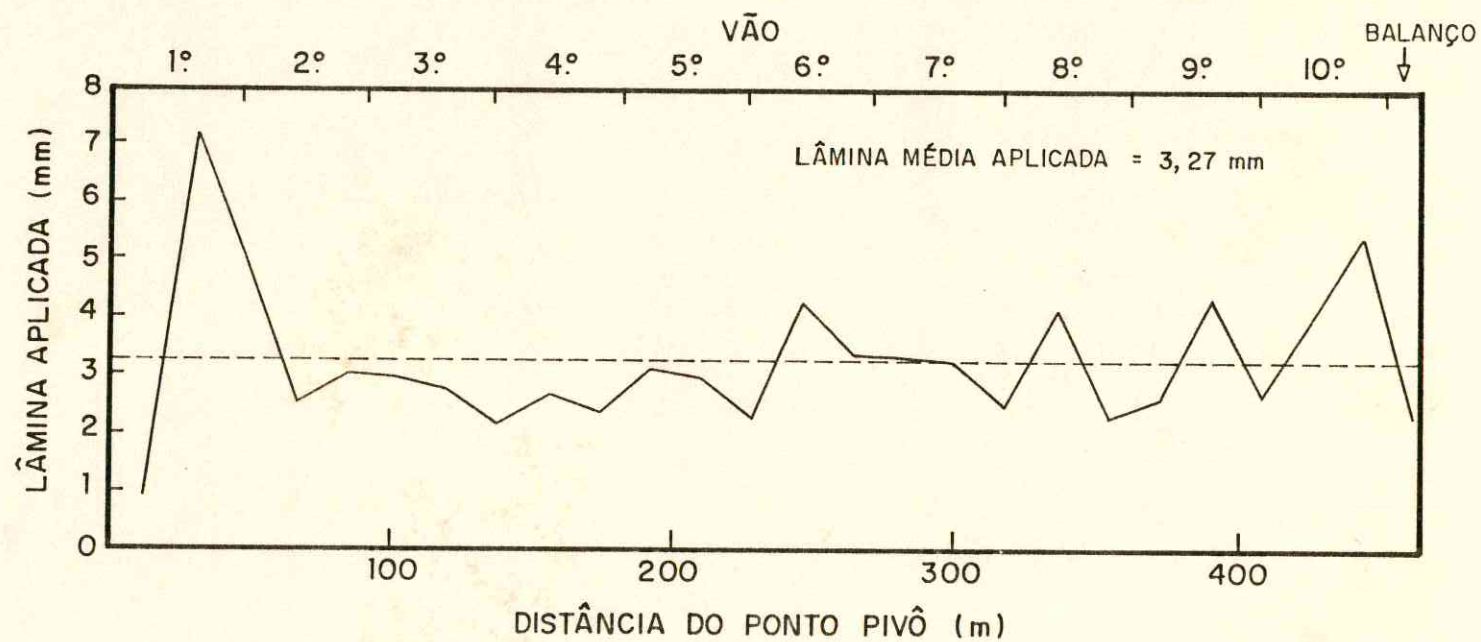


Figura 11 - Perfil da lâmina média aplicada do sistema com velocidade de operação 100 % e espaçamento de 18 m entre coletores.

Tabela 7 - Lâmina média coletada, lâmina média aplicada e lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas, no sistema e média cíclica na área, considerando-se um espaçamento de 6 m entre coletores.

Regulagem da velocidade (%)	Nº do teste	Lâmina bruta projetada (mm)	Lâmina média coletada (mm)	Lâmina média aplicada (mm)	Lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas (mm)
50	01	7,88	6,55	6,75	3,98
	02		7,37	7,50	4,80
	03		7,28	7,34	4,72
80	01	4,93	4,29	4,34	2,44
	02		4,19	4,42	2,59
	03		4,70	4,76	2,84
100	01	3,94	2,93	3,13	1,84
	02		3,03	3,11	1,94
	03		3,10	3,18	1,84
50	Média cíclica	7,88	7,07	7,20	4,54
80	Média cíclica	4,93	4,39	4,51	2,88
100	Média cíclica	3,94	3,02	3,14	1,99



Tabela 8 - Lâmina média coletada, lâmina média aplicada e lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas, no sistema e média cíclica na área, considerando-se um espaçamento de 12 m entre coletores.

Regulagem da velocidade (%)	Nº do teste	Lâmina bruta projetada (mm)	Lâmina média coletada (mm)	Lâmina média aplicada (mm)	Lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas (mm)
50	01	7,88	6,94	7,14	4,30
	02		7,55	7,68	5,12
	03		7,54	7,60	4,89
80	01	4,93	4,33	4,38	2,63
	02		4,16	4,39	2,66
	03		4,68	4,74	2,82
100	01	3,94	2,99	3,19	1,80
	02		2,97	3,05	1,90
	03		3,10	3,18	1,89
50	Média cíclica	7,88	7,34	7,47	4,76
80	Média cíclica	4,93	4,38	4,50	2,96
100	Média cíclica	3,94	3,02	3,14	2,00

Tabela 9 - Lâmina média coletada, lâmina média aplicada e lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas, no sistema e média cíclica na área, considerando-se um espaçamento de 18 m entre coletores.

Regulagem da velocidade (%)	Nº do teste	Lâmina bruta projetada (mm)	Lâmina média coletada (mm)	Lâmina média aplicada (mm)	Lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas (mm)
50	01	7,88	6,59	6,79	4,00
	02		7,26	7,39	4,86
	03		7,22	7,28	4,93
80	01	4,93	4,42	4,47	2,64
	02		4,19	4,42	2,82
	03		4,67	4,73	3,11
100	01	3,94	3,19	3,39	2,09
	02		3,05	3,13	1,89
	03		3,20	3,28	1,86
50	Média cíclica	7,88	7,02	7,15	4,78
80	Média cíclica	4,93	4,42	4,54	3,23
100	Média cíclica	3,94	3,15	3,27	2,18



#### 4.2 - Performance do Sistema sob Diferentes Velocidades de Operação

Na análise da influência da velocidade de operação do sistema sobre os parâmetros de qualidade da irrigação, considerou-se somente o espaçamento de 6 m entre coletores.

Conforme os resultados das Tabelas 10 e 11, observa-se que os valores de CUC, CUD e EAP não sofreram muita influência da velocidade, apesar de que, comparações feitas entre as velocidades estudadas durante os diferentes testes, mostraram que, nos testes realizados no raio 1, uma regulagem da velocidade em 50 % da máxima propiciou os melhores valores desses coeficientes, quando comparada com as velocidades de 80 e 100 %. A explicação para este fato deve-se, provavelmente, à redução nas perdas diretas pela evaporação, pois ao diminuir-se a velocidade do sistema, irrigações mais profundas e menos frequentes são aplicadas, o que melhora a eficiência do uso de água.

No entanto, quando se comparou, isoladamente, as velocidades de 80 e 100 %, a maior velocidade correspondeu aos maiores coeficientes e pode-se atribuir esse resultado a algum fator, não identificado, que tenha inibido ou se sobreposto à velocidade.

No raio 2, durante o segundo teste, observou-se que também houve um aumento nos valores dos parâmetros para regulagem da velocidade em 50 % da máxima. Todavia, isso não se repetiu nos demais. Nos testes 1 e 3, os melhores resultados para o CUC foram alcançados quando o sistema operava a 80 %. Observações feitas em campo, anotadas durante os testes, revelaram que neste raio havia uma maior incidência de escoamento superficial na extremidade do equipamento ao diminuir-se a velocidade de operação do sistema para 50 %, e, como consequência, verificou-se uma queda nos valores dos coeficientes. De acordo com SANTOS et alii (1989), erosão do solo e redução na quantidade de água infiltrada, causando um decréscimo na água armazenada e disponível para

Tabela 10 - Influência da velocidade de operação do sistema sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do raio 1, para regulagem da velocidade em 50, 80 e 100 %.

Nº do teste	Regulagem da velocidade (%)	Parâmetros		
		CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
01	50	74,03	65,97	64,63
	80	68,91	46,37	45,62
	100	71,41	56,91	52,42
02	50	74,00	62,84	61,75
	80	69,44	56,84	54,28
	100	73,82	63,26	62,66
03	50	79,39	68,71	67,43
	80	66,35	50,63	49,28
	100	70,02	56,66	56,13



Tabela 11 - Influência da velocidade de operação do sistema sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do raio 2, para regulagem da velocidade em 50, 80 e 100 %.

Nº do teste	Regulagem da velocidade (%)	Parâmetros		
		CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
01	50	64,46	49,34	47,54
	80	67,09	47,10	46,77
	100	59,67	37,06	35,45
02	50	67,58	48,09	47,26
	80	64,15	44,69	42,05
	100	65,15	40,82	39,09
03	50	64,97	48,12	48,12
	80	68,07	54,43	54,43
	100	59,20	38,05	36,45

as culturas, são alguns dos problemas decorrentes do escoamento, os quais, segundo GILLEY (1981), são mais evidentes devido ao sistema ser equipado com aspersores fixos tipo "sprays" de baixa pressão.

Nos testes realizados no raio 2, os coeficientes obtidos para a velocidade de 100 % foram inferiores àqueles encontrados com as velocidades de 50 e 80 %. Isto deveu-se, possivelmente, ao fato de que, ao aumentar-se a velocidade do sistema, houve redução da lâmina aplicada por volta, ficando a mesma mais sujeita à fatores externos como vento, evaporação e outros.

De acordo com MERRIAM et alii (1973), citados por BRIDI (1984), quando não há problemas de escoamento e a capacidade do sistema não é suficiente para satisfazer as exigências de água da cultura, uma diminuição da velocidade do sistema geralmente melhora os rendimentos.

Os resultados do CUC, CUD e EAP do sistema encontram-se na Tabela 12. Verifica-se que, durante os testes, houve uma grande variabilidade no desempenho do equipamento com relação à velocidade de operação, o que dificulta a determinação da velocidade que propiciou os melhores resultados. Isto pode ser explicado pelas alterações e consertos feitos no sistema de um teste para outro. No entanto, quando se analisa a média cíclica na área, obtida através da média aritmética dos pluviômetros de mesmo número de posições durante os três testes, constata-se que uma melhor performance foi obtida quando o mesmo operava a uma velocidade de 80 % da máxima.

Comparando-se as velocidades de 50 e 100 %, para esta situação, verifica-se que com a menor velocidade (50 %), obteve-se os melhores resultados para a CUC, o que pode indicar que, mesmo com o risco de escoamento superficial, é melhor reduzir a velocidade para se alcançar uma melhor uniformidade, do que trabalhar com altos valores de velocidade, expondo, assim, a lâmina aplicada à fatores externos.

As Figuras 3, 4 e 5, permitem uma observação do perfil da lâmina aplicada pelo sistema ao longo da linha lateral, de acordo com a velocidade de operação. Pela análise dessas figuras, observa-se que mais próximo das extremida-



Tabela 12 - Influência da velocidade de operação sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do sistema, considerando a regulagem da velocidade em 50, 80 e 100 %.

Nº do teste	Regulagem da velocidade (%)	Parâmetros		
		CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
01	50	73,67	60,76	58,96
	80	74,53	56,88	56,22
	100	74,98	62,80	58,79
02	50	77,84	65,13	64,00
	80	75,75	61,81	58,60
	100	75,79	64,03	62,38
03	50	74,93	64,84	64,31
	80	73,14	60,43	59,66
	100	70,54	59,35	57,86
Média cíclica	50	76,83	64,21	63,06
	80	78,01	65,60	63,86
	100	75,49	65,89	63,38

des do pivô, as lâminas são maiores do que as observadas ao longo da lateral, o que vem aumentar o risco de ocorrência de escoamento superficial nestes locais. Este fenômeno é mais acentuado à medida que se reduz a velocidade de operação, pois maior será a lâmina aplicada por volta.

Segundo BRIDI (1984), o efeito do aumento excessivo da lâmina é mais pronunciado nos locais mais distantes do centro do pivô, pois a área irrigada aumenta em função do raio ao quadrado.

Valores de lâmina média coletada e aplicada, velocidade de rotação da última torre e tempo de revolução no sistema e média cíclica na área, conforme a regulação da velocidade, encontram-se na Tabela 13. Pode-se verificar que a menor velocidade de operação corresponde à coleta de maior lâmina média, resultado, este, que confirma aquele encontrado por SANTOS et alii (1988). Constata-se ainda que, para todas as velocidades estudadas, as lâminas médias coletadas foram inferiores à projetada, e as velocidades da última torre e tempos para um giro completo do equipamento foram diferentes dos nominais, indicando que o sistema não estava funcionando de acordo com as especificações do fabricante, o que, provavelmente, deve ter contribuído para os valores reduzidos de uniformidade.

Na determinação da eficiência de aplicação potencial (EAP), considerou-se a lâmina total aplicada a qual foi obtida mediante a soma da lâmina média evaporada à lâmina média coletada. Segundo COTRIM (1989), este parâmetro seria determinado com maior precisão se o sistema fosse equipado com medidor de vazão. Analisando a Tabela 14, percebe-se que, para a média cíclica na área, os valores de EAP, para as três velocidades estudadas, são muito próximos. Este resultado pode estar relacionado com a evaporação que, neste caso, manteve-se praticamente constante.



Tabela 13 - Lâmina média coletada, lâmina média aplicada, velocidade de rotação da última torre e tempo de revolução no sistema e média cíclica na área, conforme a regulação da velocidade.

Regulagem da velocidade (%)	No do teste	Velocidade da última torre		Tempo gasto por giro		Lâmina projetada (mm)	Lâmina média coletada (mm)	Lâmina média aplicada (mm)
		Nominal (m/h)	Medida (m/h)	Nominal (h)	Medido (m)			
50	01		126,2		22,43		6,55	6,75
	02	125,7	125,2	22,52	22,61	7,88	7,37	7,50
	03		124,7		22,70		7,28	7,34
80	01		221,3		12,79		4,29	4,34
	02	201,1	217,7	14,08	13,01	4,93	4,19	4,42
	03		214,9		13,17		4,70	4,76
100	01		270,7		10,46		2,93	3,13
	02	251,4	278,1	11,26	10,18	3,94	3,03	3,11
	03		260,6		10,86		3,10	3,18
50	Média cíclica	125,7	125,4	22,52	22,58	7,88	7,07	7,20
80	Média cíclica	201,1	218,0	14,08	12,99	4,93	4,39	4,51
100	Média cíclica	251,4	269,5	11,26	10,51	3,94	3,02	3,14

Tabela 14 - Evaporação, lâmina média coletada, lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas e eficiência de aplicação potencial, conforme a regulagem da velocidade, no sistema e média cíclica na área.

Nº do teste	Regulagem da velocidade (%)	Evaporação (mm)	Lâmina média coletada (mm)	Lâmina média correspondente aos 25 % das menores lâminas coletadas (mm)	Eficiência de aplicação potencial (%)
01	50	0,2	6,55	3,98	58,96
	80	0,05	4,29	2,44	56,22
	100	0,2	2,93	1,84	58,79
02	50	0,13	7,37	4,80	64,00
	80	0,23	4,19	2,59	58,60
	100	0,08	3,03	1,94	62,38
03	50	0,06	7,28	4,72	64,31
	80	0,06	4,70	2,84	59,66
	100	0,08	3,10	1,84	57,86
Média cíclica	50	0,13	7,07	4,54	63,06
	80	0,12	4,39	2,88	63,86
	100	0,12	3,02	1,99	63,38



#### 4.3 - Avaliação Geral do Sistema

Para a avaliação da qualidade de irrigação, determinaram-se os seguintes parâmetros: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC); Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Eficiência de Aplicação Potencial (EAP).

Estabelecendo-se um espaçamento de 6 m entre coletores observa-se conforme o quadro geral de resultados (Anexo 01), que os valores do CUC, CUD e EAP, obtidos para cada raio em particular e para o sistema, foram menores do que 70 %. Vários autores (OLITTA, 1984; BERNARDO, 1989), concordam que valores encontrados para Coeficiente de Uniformidade de Christiansen abaixo de 80 %, indicam que sistema não está funcionando com boa uniformidade de distribuição de água. Valores inferiores à 66 % são, normalmente, inaceitáveis, mesmo considerando relativo o conceito de baixa uniformidade de distribuição, conforme MERRIAM et alii (1973), citados por BRIDI (1984). Para MERRIAM & KELLER (1978), resultados reduzidos de CUD, representam um dimensionamento inadequado de bocais ou mau funcionamento de aspersores.

Através do exame dos dados, pode-se atribuir a baixa performance do sistema aos seguintes motivos: redução da pressão requerida no ponto pivô em relação à estabelecida em projeto; variabilidade da pressão de serviço dos sprays, indicando que os reguladores de pressão não estavam funcionando adequadamente; diferença entre os dados constantes na ficha técnica do fabricante como: velocidade da última torre e tempo de revolução, e os obtidos por ocasião dos testes. Cita-se, ainda, a oscilação dos tubos de descida com o vento, implicando em desalinhamento dos mesmos, e, conseqüentemente, menor superposição entre os aspersores devido à diminuição de seu raio molhado com a menor altura. Por último, tem-se a mudança da posição de operação dos aspersores sem qualquer modificação nas placas difusoras, alterando a trajetória das gotas. Estas afirmativas estão em



sintonia com as de FIETZ et alii (1989).

Analisando a influência da pressão no ponto pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP para os raios, sistema e velocidades estudadas (Tabelas 15, 16, 17 e 18) verifica-se que ela, de acordo com ASSIS (1990), também não apresenta uma correlação direta com os parâmetros de uniformidade. Conforme as especificações técnicas do equipamento (Tabela 1), vê-se que a pressão requerida no ponto pivô deveria ser de 3,19 Kgf/cm<sup>2</sup>; no entanto, durante os testes, variou de 1,55 a 1,80 Kgf/cm<sup>2</sup>. Observa-se, ainda, que, apesar desta pressão ser reduzida e apresentar valores aproximados, os coeficientes sofreram uma certa variabilidade de um teste para outro. SOLOMON (1979), afirmou que apesar de fatores conhecidos apresentarem condições similares por ocasião dos testes, alguns deles não podem ser controlados, provocando uma variabilidade de coeficientes.

No Anexo 02, encontram-se algumas medidas de pressões tomadas a partir de certos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral. Segundo o fabricante, a pressão recomendada para os bocais era de 1,4 Kgf/cm<sup>2</sup> e o sistema testado, equipado com regulador de pressão, o que permitia o seu funcionamento sem que a pressão nos sprays fosse muito alterada, propiciando adequada distribuição do jato. Contudo, constatou-se que esses reguladores não estavam sendo eficazes, uma vez que a pressão de serviço dos sprays nos bocais estudados, variaram de 1,0 a 3,0 Kgf/cm<sup>2</sup>.

O perfil de distribuição da lâmina média aplicada ao longo da lateral do sistema, pode ser estudado a partir das Figuras 3, 4 e 5. Percebe-se que houve uma grande variação das lâminas em torno da média, indicando que o sistema apresentava uma baixa capacidade de controle da lâmina aplicada. De acordo com DILLON et alii (1972), a lâmina máxima que pode ser aplicada pelo sistema, por revolução, depende da quantidade de água contida na zona das raízes à capacidade de campo ou da velocidade mínima na qual o sistema pode movimentar-se sem ocorrência de escoamento superficial.

Conforme as Tabelas 3 e 4, verifica-se que, de mo-



Tabela 15 - Influência da pressão no ponto pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP de cada raio, para regulagem da velocidade em 50 %.

No do raio	No do teste	Pressão no ponto pivô (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Parâmetros		
			CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
R <sub>1</sub>	01	1,70	74,03	65,97	64,63
	02	1,70	74,00	62,84	61,75
	03	1,80	79,39	68,71	67,43
R <sub>2</sub>	01	1,80	64,46	49,34	47,54
	02	1,75	67,58	48,09	47,26
	03	1,60	64,97	48,12	48,12

Tabela 16 - Influência da pressão no ponto pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP de cada raio, para regulagem da velocidade em 80 %.

Nº do raio	Nº do teste	Pressão no ponto pivô (Kg $\bar{f}$ /cm $^2$ )	Parâmetros		
			CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
R $_1$	01	1,75	68,91	46,37	45,62
	02	1,70	69,44	56,84	54,28
	03	1,70	66,35	50,63	49,28
R $_2$	01	1,75	67,09	47,10	46,77
	02	1,55	64,15	44,69	42,05
	03	1,60	68,07	54,43	54,43



Tabela 17 - Influência da pressão no ponto pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP de cada raio, para regulagem da velocidade de 100 %.

Nº do raio	Nº do teste	Pressão no ponto pivô (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Parâmetros		
			CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
R <sub>1</sub>	01	1,80	71,41	56,91	52,42
	02	1,70	73,82	63,26	62,66
	03	1,75	70,02	56,66	56,13
R <sub>2</sub>	01	1,65	59,67	37,06	35,45
	02	1,70	65,15	40,82	39,09
	03	1,60	59,20	38,05	36,45

Tabela 18 - Influência da pressão no ponto pivô sobre os resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e média cíclica na área.

No do teste	Regulagem da velocidade (%)	Pressão no ponto pivô (Kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	Parâmetros		
			CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
01	50	1,75	73,67	60,76	58,96
	80	1,75	74,53	56,88	56,22
	100	1,73	74,98	62,80	58,79
02	50	1,73	77,84	65,13	64,00
	80	1,63	75,75	61,81	58,60
	100	1,70	75,79	64,03	62,38
03	50	1,70	74,93	64,84	64,31
	80	1,65	73,14	60,43	59,66
	100	1,68	70,54	59,35	57,86
Média cíclica	50	1,73	76,83	64,21	63,06
	80	1,68	78,01	65,60	63,86
	100	1,70	75,49	65,89	63,38



do geral, os coeficientes obtidos a partir do raio 1 foram superiores àqueles alcançados no raio 2. A explicação para este fato deve-se, provavelmente, à direção predominante do vento. Este fator climático, provoca uma distorção no perfil de distribuição, resultando na desuniformidade de distribuição da lâmina d'água no solo. Possivelmente no raio 2, paralelo à direção predominante do vento, forma-se, devido a ação desse parâmetro, uma linha de menor resistência, permitindo o arrastamento do jato pulverizado, contribuindo, assim, para agravar o problema de escoamento superficial, uma vez que observações feitas em campo mostraram que havia uma maior incidência de escoamento nos testes realizados neste raio.

ASSIS (1990), realizando uma avaliação de sistema de irrigação por pivô central de baixa pressão, também obteve menores resultados do CUC para os raios instalados paralelamente à direção predominante do vento.

O fator climático evaporação, no trabalho conduzido por ASSIS (1990), apresentou, de modo geral, uma correlação indireta com a uniformidade e suas taxas foram dependentes da hora do teste, da velocidade e direção do vento e do tempo de molhamento na extremidade. Todavia, isto não ocorreu no presente trabalho. Como pode-se comprovar pela Tabela 19, para algumas velocidades, uma maior evaporação corresponde aos maiores coeficientes. A explicação para o fato pode ser atribuída a algum outro fator que tenha exercido um domínio maior sobre os coeficientes que a evaporação. No entanto, observa-se que, para a média cíclica na área, os valores dos coeficientes obtidos com as velocidades de 80 e 100 %, são ligeiramente superiores àqueles alcançados com a velocidade de 50 %, o que, provavelmente, deve estar relacionado à pequena queda registrada na evaporação, devido ao aumento da umidade relativa do ar e redução na temperatura.

Na Tabela 20, encontram-se os seguintes parâmetros, de acordo com a velocidade de operação do pivô: velocidade de rotação da última torre, tempo para um giro completo, tempo de molhamento na extremidade e taxa máxima de aplica-

Tabela 19 - Resultados do CUC, CUD e EAP do sistema e média cíclica na área, de acordo com a evaporação, temperatura média e umidade relativa média do ar, para regulagem da velocidade em 50, 80 e 100 %.

Regulagem da velocidade (%)	No do teste	Temperatura média (°C)	Umidade relativa média (mm)	Evaporação (mm)	Parâmetros		
					CUC (%)	CUD (%)	EAP (%)
50	01	28,0	88,0	0,2	73,67	60,76	58,96
	02	28,0	94,5	0,13	77,84	65,13	64,00
	03	28,0	95,0	0,06	74,93	64,84	64,31
80	01	27,8	94,0	0,05	74,53	56,88	56,22
	02	28,0	93,0	0,23	75,75	61,81	58,60
	03	28,0	95,0	0,06	73,14	60,43	59,66
100	01	28,0	96,5	0,2	74,98	62,80	58,79
	02	28,0	95,5	0,08	75,79	64,03	62,38
	03	27,0	93,0	0,08	70,54	59,35	57,86
50	Média cíclica	28,0	92,5	0,13	76,83	64,21	63,06
80	Média cíclica	27,9	94,0	0,12	78,01	65,60	63,86
100	Média cíclica	27,7	95,0	0,12	75,49	65,89	63,38



Tabela 20 - Parâmetros hidráulicos relacionados com a velocidade de operação, e determinados no sistema, durante cada teste.

Parâmetro Hidráulico	Regulagem da velocidade(%)								
	50			80			100		
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Velocidade de rotação da última torre (m/h)	126,2	125,2	124,7	221,3	217,7	214,9	270,7	278,1	260,6
Tempo de rotação do sistema (h)	22,43	22,61	22,70	12,79	13,01	13,17	10,46	10,18	10,86
Área irrigada (ha)	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
Vazão estimada do sistema (m³/h)	225,70	248,78	242,51	254,50	254,80	271,07	224,43	229,13	219,61
Tempo de molhamento na extremidade (min)	4,60	4,51	4,47	2,80	2,98	2,79	2,40	2,19	2,19
Taxa máxima de aplicação (mm/h)	110,05	124,72	123,15	116,25	111,24	127,96	97,81	106,51	108,90

ção. Analisando os valores de taxa máxima de aplicação, nota-se que o pivô estudado apresentou alta intensidade de aplicação na extremidade da lateral, confirmado pela presença de escoamento superficial no local, principalmente quando em funcionamento na regulação de velocidade igual a 50 %.

Para a redução das perdas por escoamento, pode-se adotar os seguintes procedimentos: redução da frequência de irrigação; aumento da velocidade de rotação do pivô, diminuindo-se, portanto, a lâmina de irrigação; redução do diâmetro dos bocais dos aspersores, o que diminui a intensidade de aplicação de água; aumento da pressão de operação do sistema; e, por fim, a construção, durante o plantio, de diques ou sulcos de modo a permitir uma acumulação da água sobre o solo, aumentando-se, assim, a oportunidade de infiltração da água. Estas observações estão de acordo com as de GUERRA (1988).

A Tabela 20, permite, ainda, a verificação de que os valores dos parâmetros diferem daqueles especificados em projeto. Segundo ROSA (1988), a quantidade de água aplicada pelo pivô numa irrigação, depende de três fatores: área irrigada, vazão do sistema e velocidade com que o equipamento se desloca. Erros no dimensionamento da área, vazão e velocidade, impedem que os pivôs apliquem água na medida certa.



## 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise conjunta dos resultados obtidos e discutidos neste trabalho, permitiu as seguintes conclusões e recomendações:

### 5.1 - Conclusões:

- o emprego de espaçamentos, entre coletores, maiores que 12 m, provoca um desagrupamento dos dados, resultando em coeficientes superiores ou inferiores aos esperados;
- considerando-se a média cíclica na área, o sistema apresentou, de modo geral, um melhor desempenho quando operava com regulação da velocidade em 80 % da máxima;
- a redução da velocidade de operação do sistema para 50 %, implicava numa maior incidência de escoamento superficial;
- os coeficientes de uniformidade, inferiores a 70 %, indicam que o sistema estava funcionando inadequadamente;
- a posição da lateral, paralela a direção predominante do vento, mostrou ser crítica, uma vez que resultou em menores coeficientes;
- a lâmina coletada mostrou-se mais variável na porção inicial e final da linha lateral;
- erros nos valores de velocidade de deslocamento e na vazão do sistema, especificados em projeto, podem estar associados à baixa capacidade de controle da lâmina aplicada pe-

lo equipamento.

## 5.2 - Recomendações:

- evitar a utilização de espaçamentos maiores que 12 m, pois os coeficientes obtidos nesta situação, podem não ser condizentes com a realidade;
- não se deve optar, durante a operação do sistema, por altas velocidades, o que impede que a lâmina aplicada fique à mercê de fatores externos. Por outro lado, em locais sujeitos ao escoamento superficial, não recomenda-se a redução da velocidade de operação do equipamento;
- em futuras avaliações do efeito da velocidade de operação na performance do sistema, aconselha-se a condução dos testes em condições similares, evitando que outros fatores, além da velocidade, influenciem os resultados dos parâmetros;
- a ocorrência de baixos valores dos coeficientes, associados à utilização de tubos de descida, sugere o emprego de implementos para amarração dos mesmos, impedindo, assim, a sua oscilação;
- devem-se realizar novos trabalhos de avaliação de sistemas pivô central, com e sem tubos de descida, de modo a verificar se há ou não uma melhoria das condições de operação do sistema com a introdução deste implemento;
- correção da pressão no ponto pivô para o valor especificado em projeto, visando uma melhor performance do sistema;
- realizar medidas da pressão de serviço dos sprays ao longo do sistema, e substituir os reguladores de pressão daqueles que não operam conforme recomendação do fabricante (1,4 Kgf/cm<sup>2</sup>).



## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDINK, J.W.; MILES, D.L. & SKOGERBOE, G.V. Water intake under center-pivots from time-varying application rates. Transactions of the ASAE, 18(3):523-525, 528, 1975.
- ALI, S.M.A. & BAREFOOT, A.D. Performance of center-pivot sprinkler irrigation systems operating at reduced pressures. St. Joseph, Michigan, ASAE. Paper n. 78-2005, 1978. 19p.
- ASSIS, L.L. DE. Avaliação de sistema de irrigação por pivô central de baixa pressão. Fortaleza, UFC, Imprensa Universitária, 1990. 93p. (Tese M.S.).
- AZEVEDO, J.A. DE; SILVA, E.M. DA; RESENDE, M. & GUERRA, A. F. Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado. Brasília, EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, n. 16, 1983. 53p.
- BEALE, J.G. & HOWELL, D.T. Relationships among sprinkler uniformity measures. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 92(IR 1):41-48, 1966.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 5. ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1989. 488p.
- BRIDI, S. Análise de uniformidade da distribuição de água em sistema de irrigação por pivô central. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1984. 87p. (Tese M.S.).
- BRIDI, S.; BERNARDO, S.; FERREIRA, P.A. & SEDIYAMA, G. C. Análise de uniformidade da distribuição de água em sistema de irrigação por pivô central. In: CONGRESSO NACIO-

- NAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7., Brasília, 1986. Anais... Brasília, 1986. v.1, p.27-52.
- CALLIES, R.E. "Corner Pivot" an effective corner watering system. St. Joseph, Michigan, ASAE. Paper n. 78 - 2006, 1978. 19p.
- CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by Sprinkler. Berkeley, California, University of California, 1942. 124p. (Bull. n. 670).
- CHU, S.T. & MOE, D.L. Hydraulics of a center pivot system. Transactions of the ASAE, 15(5):894-896, 1972.
- COLOMBO, A.; ZAGGO, S.P.; ALBINO, J.A.S.; SAAD, A.H. & SCALOPPI, E.J. Desempenho de sistema de irrigação por aspersão pivô-central em Guaíra, SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., Florianópolis, 1988. Anais ... Florianópolis, 1988. v.3, p.237-257.
- COTRIM, C.E. Análise da uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação tipo pivô central de baixa pressão. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1989, 113p. (Tese M.S.).
- CULVER, R. & SINKER, R.F. Rapid assessment of sprinkler performance. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 92(1):1-7, 1966.
- DAKER, A. Irrigação e drenagem: a água na agricultura. vol. 3., 6.ed. Rio de Janeiro, Ed. Freitas Bastos, 1984. 543p.
- DAVIS, J.R. Measuring water distribution from sprinklers. Transactions of the ASAE, 9(1):94-97, 1966.
- DILLON, R.C.; HILLER, E.A. & VITTETOE, R. Center - pivot sprinkler design based on intake characteristics.



Transactions of the ASAE, 15(5):966-1001, 1972.

EDLING, R.J. Variation of center-pivot operation with field slope. Transactions of the ASAE, 22(5):1032-1043, 1979.

FARIA, M.A. DE & VIEIRA, J. Irrigação por aspersão: sistemas mais usados no Brasil. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 12(139):27-39, 1986.

FIETZ, C.R.; OLIVEIRA, C.S.G. DE; GAMA, A.A.; NOGUEIRA, L. C.; SILVA, W.L. DE C. & MIRANDA, N. DE O. Desempenho de pivô central nos tabuleiros litorâneos do Piauí. Parnaíba, EMBRAPA-CNPAl. Pesquisa em andamento, n.2, 1989. 10p.

FISCHER, G.R. & WALLENDER, W.W. Collector size and test duration effects on sprinkler water distribution measurement. Transactions of the ASAE, 31(2):538 - 542, 1988.

FROST, K.R. & SCHWALEN, H.C. Sprinkler evaporation losses. Agricultural Engineering, 36(8):526-528, 1955

GILLEY, B.J.R. & MIELKE, N. Conserving energy with low-pressure center-pivot. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 106(IR I):49-59, 1980.

GILLEY, B.J.R. High, medium, low pressure center pivots. Proceedings of Nebraska Irrigation Short Course, 1981. p.114-125.

GUERRA, H.O.C. Irrigação por pivô central no serviço de produção de sementes básicas (Bebedouro II). I. Avaliação Técnica. Petrolina, EMBRAPA-CPATSA. Documento n.51, 1988. 100p.

HART, W.E. & REYNOLDS, W.N. Analytical design of sprinkler

- systems. Transactions of the ASAE, 8(1):83-85,89, 1965.
- HEERMANN, D.F. & HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. Transactions of the ASAE, 11(1):11-15, 1968.
- HEERMANN, D.F.; SHULL, H.H. & MICKELSON, R.H. Center pivot design capacities in Eastern Colorado. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 100(IR 2): 127-141, 1974.
- HEERMANN, D.F.; BUCHLEITER, G.W. & DUKE, H.R. Integrated water-energy management system for center pivot irrigation: Implementation. Transactions of the ASAE, 27(1):1424-1426, 1984.
- HILLS, D.J.; GU, Y.; RUMSEY, J.W. & WALLENDER, W.W. Lateral move water application uniformity relative to machine speed. Transactions of the ASAE, 31(2):527-530, 1988.
- JAMES, L.G. Modeling the performance of center pivot irrigation systems operating on variable topography. Transactions of the ASAE, 25(1):143-149, 1982.
- JAMES, L.G. Effects of pump selection and terrain on center pivot performance. Transactions of the ASAE, 27(1): 64-68, 1984.
- JAMES, L.G. & BLAIR, S.K. Performance of low-pressure center-pivot systems. Transactions of the ASAE, 27(6): 1753-1762, 1984.
- JOHNSON, G.C.; ROCHESTER, E.W.; HATCH, L.U.; CURTIS, L.M. & YOO, K.H. Analysis of center pivot irrigation system operating in a humid-area environment. Transactions of the ASAE, 30(6):1720-1725, 1987.
- KELLER, J. Sprinkler irrigation. In: Irrigation. Chap. 11.



Agricultural and Irrigation Engineering, Logan, Utah, 1979. 302p.

KINCAID, D.C.; HEERMANN, D.F. & KRUSE, E.G. Application rates and runoff in center-pivot sprinkler irrigation. Transactions of the ASAE, 12(6):790-794, 797, 1969.

KINCAID, D.C. & HEERMANN, D.F. Pressure distribution on a center-pivot sprinkler irrigation system. Transactions of the ASAE, 13(11):556-558, 1970.

KOHL, R.A. & DEBOER, D.W. Drop size distribution for low pressure spray type agricultural sprinkler. Transactions of the ASAE, 27(6):1836-1840, 1984.

KOHL, K.D.; KOHL, R.A. & DEBOER, D.W. Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss. Transactions of the ASAE, 30(4):1071-1074, 1987.

LEME, E.J. DE A. Avaliação da uniformidade e eficiência da irrigação através dos modelos normal e linear. ITEM-Irrigação e Tecnologia Moderna, (27):11-14, 1986.

MARCHETTI, D.; REIS, A.E.G. DOS & ALBUQUERQUE FILHO, J.L. DE. Alguns aspectos técnicos e alternativos da irrigação por aspersão. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7. Brasília, 1986. Anais... Brasília, 1986. v.2, p.535-544.

MARCHETTI, D. Irrigação por pivô central. Brasília, EMBRAPA-ATA. Circular Técnica, n.1, 1983. 23p.

MAREK, T.U.; UNDERSANDER, D.J. & EBELING, L.L. An areal weighted uniformity coefficient for center pivot irrigations systems. Transactions of the ASAE, 29 (6): 1665-1667, 1986.

MAROUELLI, W.A. Escolha de aspersores e manejo de sistemas

convencionais sob condições de vento. ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna, (39):19-21, 1989.

MEDEIROS FILHO, J.C.; GUERRA, N.O.C.; AMARO FILHO, J. & NOGUEIRA, F.C. Avaliação da uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão, em uma área do município de Mossoró-RN. Mossoró, Escola Superior de Agricultura de Mossoró/Departamento de Engenharia Agrícola, 1985. 18p. (Boletim Técnico Científico n. 2).

MERRIAM, J.L. & KELLER, J. Farm. Irrigation system evaluation: a guide for management. 2. ed. Logan Utah State University, 1978, 271p.

NOGUEIRA, L.C. Determinação dos parâmetros de avaliação de dois sistemas de irrigação por aspersão. Fortaleza, UFC, Imprensa Universitária, 1987. 110p. (Tese M.S.).

OLITTA, A.F.L. Os métodos de irrigação. São Paulo, Nobel, 1984. 267p.

PAIR, C.H. Water distribution under sprinkler irrigation. Transactions of the ASAE, 11(5):648-651, 1968.

RING, L. & HEERMANN, D.F. Determining center-pivot sprinkler uniformities. St. Joseph, Michigan, ASAE. Paper n. 78-2001, 1978. 19p.

ROSA, M.A. O pivô vai mal? Dá-se um jeito. Guia Rural, (12): 78-83, 1988.

ROSA, J.A.; BERNARDO, S.; LOUREIRO, B.T. & DENÍCULI, W. Avaliação do desempenho de um sistema de irrigação microautopropelido em diferentes condições de operação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. 8. Florianópolis, 1988. Anais... Florianópolis, 1988, v.1, p. 217-235.



- SANTOS, N.C. DOS; SEDIYAMA, G.C.; COSTA, E.F. DA & SOARES, A.A. Uniformidade de distribuição e eficiência potencial de aplicação em um sistema de irrigação do tipo pivô central. Revista Ceres, 35(201):461-478, 1988.
- SANTOS, N.C. DOS; SEDIYAMA, G.C.; COSTA, E.F. DA & SOARES, A.A. Armazenamento da água no solo, num sistema de irrigação do tipo pivô central, em condições de cerrado. Revista Ceres, 36(203):77-93, 1989.
- SCALOPPI, E.J. Eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão. ITEM-Irrigação e Tecnologia Moderna, (16):37-40, 1984.
- SILVA, W.L.C. Considerações sobre o uso de "sprays" de baixa pressão em pivô central. ITEM-Irrigação e Tecnologia Moderna, (39):26-27, 1989.
- SOLOMON, K. Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. Transactions of the ASAE, 22(5) : 1078-1080, 1979.
- SOUZA, F. DE & RIBEIRO, J.M. Aplicação do modelo linear de Karmeli na avaliação do sistema de irrigação por aspersão. ITEM-Irrigação e Tecnologia Moderna, (16): 7-10, 1984.
- STILLMUNKES, R.T. & JAMES, L.G. Impact energy of water droplets from irrigation sprinklers. Transactions of the ASAE, 25(1):130-133, 1982.
- VON BERNUTH, R.D. Reduced pressure pivots and pressure regulators. Proceedings of Nebraska Irrigation Short Course, 1982. p.193-198.
- VON BERNUTH, R.D. & GILLEY, J.R. Sprinkler droplet size distribution estimation from single leg test data. Transactions of the ASAE, 27(1):1435-1441, 1984.

VORIES, E.D. & VON BERNUTH, R.D. Single nozzle sprinkler performance in wind. Transactions of the ASAE, 29 (5): 1325-1330, 1986.

WALLENDER, W.W. & OHIRA, S. Abbreviated sprinkler irrigation evaluation. Transactions of the ASAE, 30 (5):1430 - 1434, 1987.



ANEXO 01

QUADRO GERAL DE RESULTADOS

Tabela 21 - Resultados do CUC, CUD e EAP, de cada raio em particular e do sistema, de acordo com a regulagem da velocidade e considerando espaçamentos de 6, 12 e 18 m entre coletores.

Raio	Regulagem da velocidade (%)	Espaçamento (m)									
		6			12			18			
		CUC	CUD	EAP	CUC	CUD	EAP	CUC	CUD	EAP	
R <sub>1</sub>	50	Teste 01	74,03	65,97	64,63	74,22	67,01	65,74	72,44	55,71	54,50
		Teste 02	74,00	62,84	61,75	72,63	68,66	67,52	71,53	55,06	54,06
		Teste 03	79,39	68,71	67,43	78,88	71,88	70,61	77,82	58,60	57,45
		Média	79,30	68,67	67,39	78,81	71,71	70,44	77,72	58,39	57,23
	80	Teste 01	68,91	46,37	45,62	70,82	52,86	51,99	69,55	42,57	41,91
		Teste 02	69,44	56,84	54,28	72,60	60,96	58,16	72,87	61,36	58,70
		Teste 03	66,35	50,63	49,28	66,42	52,26	50,84	77,48	50,75	49,38
		Média	74,87	62,75	60,96	77,16	64,43	62,56	82,33	72,06	70,04
	100	Teste 01	71,41	56,91	52,42	74,14	54,52	50,15	77,79	59,88	55,49
		Teste 02	73,82	63,26	62,66	73,33	64,98	64,33	70,33	57,96	57,41
		Teste 03	70,02	56,66	56,13	69,96	56,09	55,56	61,39	51,95	51,49
		Média	75,28	63,90	61,73	75,36	65,68	63,38	74,22	61,23	59,23
R <sub>2</sub>	50	Teste 01	64,46	49,34	47,54	66,46	46,85	45,21	68,39	59,73	57,67
		Teste 02	67,58	48,09	47,26	69,79	50,20	49,34	69,33	56,13	55,18
		Teste 03	64,97	48,12	48,12	62,42	47,77	47,77	73,69	67,63	67,63
		Média	67,17	55,21	54,24	67,20	54,42	53,49	73,08	64,16	63,08
	80	Teste 01	67,09	47,10	46,77	68,61	49,10	48,78	75,80	50,23	49,89
		Teste 02	64,15	44,69	42,05	59,12	42,21	39,73	72,99	55,16	51,77
		Teste 03	68,07	54,43	54,43	69,79	57,57	57,57	74,15	60,86	60,86
		Média	70,55	53,21	52,02	70,24	54,05	52,86	77,00	60,74	59,37
	100	Teste 01	59,67	37,06	35,45	59,11	36,79	35,26	57,69	40,97	39,32
		Teste 02	65,15	40,82	39,09	66,85	45,79	43,87	65,32	45,42	43,51
		Teste 03	59,20	38,05	36,45	61,88	37,13	35,63	68,82	45,10	43,26
		Média	65,31	41,58	39,80	66,24	43,19	41,40	68,57	45,07	43,22
No sistema	50	Teste 01	73,67	60,76	58,96	74,63	61,96	60,22	73,16	60,70	58,91
		Teste 02	77,84	65,13	64,00	78,35	67,81	66,67	77,10	66,94	65,76
		Teste 03	74,93	64,84	64,31	74,52	64,85	64,34	78,00	68,28	67,72
		Média	76,83	64,21	63,06	77,16	64,85	63,72	78,02	68,09	66,85
	80	Teste 01	74,53	56,88	56,22	78,12	60,74	60,05	80,14	59,73	59,06
		Teste 02	75,75	61,81	58,60	72,36	63,94	60,59	83,05	67,30	63,80
		Teste 03	73,14	60,43	59,66	73,71	60,26	59,49	79,78	66,60	65,75
		Média	78,01	65,60	63,86	76,74	67,58	65,78	85,46	73,08	71,15
	100	Teste 01	74,98	62,80	58,79	72,10	60,20	56,43	78,17	65,52	61,65
		Teste 02	75,79	64,03	62,38	75,44	63,97	62,30	72,99	61,97	60,38
		Teste 03	70,54	59,35	57,86	70,11	60,97	59,43	70,03	58,13	56,71
		Média	75,49	65,89	63,38	74,45	66,23	63,69	75,37	69,21	66,67



ANEXO 02

MEDIDAS DA PRESSÃO DE SERVIÇO DOS SPRAYS

Tabela 22 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 01.

Data: 12/12/89.

Vão	Nº do aspersor	Pressão de serviço (Kgf/cm <sup>2</sup> )
01	7	1,20
	11	1,20
02	14	3,00
	17	3,00
	18	1,80
	23	1,20
	27	1,20
03	34	1,20
	41	1,80
04	48	1,80
	55	1,60
05	63	1,60
	69	1,60
06	76	1,60
07	84	1,60
	90	1,60
08	98	1,00
	105	1,20
09	112	1,20
	118	1,20
10	132	1,20
	139	1,20
Balanço	141	1,20

\* pressão no ponto pivô: 1,70 Kgf/cm<sup>2</sup>.

\*\* pressão na saída bomba: 7,70 Kgf/cm<sup>2</sup>.



Tabela 23 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 02.

Data: 13/12/89

Vão	Nº do aspersor	Pressão de serviço (Kgf/cm <sup>2</sup> )
01	7	1,60
	11	1,30
02	14	2,80
	17	2,80
	19	1,80
	23	1,80
	27	1,60
03	34	1,40
	41	1,60
04	48	1,40
	55	1,50
05	63	1,40
	69	1,40
06	76	1,60
07	84	1,20
	90	1,20
08	98	1,20
	105	1,20
09	112	1,40
	118	1,20
10	132	1,20
	139	1,20
Balanço	141	1,60

\* pressão no ponto pivô: 1,70 Kgf/cm<sup>2</sup>.

\*\* pressão na saída da bomba: 7,70 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Tabela 24 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 03.

Data: 13/12/89.

Vão	Nº do aspersor	Pressão de serviço (Kgf/cm <sup>2</sup> )
01	7	1,80
	11	1,20
02	14	2,80
	17	2,80
	19	1,60
	23	1,60
	27	1,40
03	34	1,20
	41	1,60
04	48	1,40
	55	1,40
05	63	1,30
	69	1,30
06	76	1,60
07	84	1,20
	90	1,20
08	98	1,00
	105	1,00
09	112	1,20
	118	1,20
10	132	1,10
	139	1,40
Balanço	141	1,20

Obs: vazamento  
na lateral

\* pressão de serviço no ponto pivô: 1,65 Kgf/cm<sup>2</sup>

\*\* pressão na saída da bomba: 7,75 Kgf/cm<sup>2</sup>.



Tabela 25 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 04.

Data: 14/12/89

Vão	Nº do aspersor	Pressão de serviço (Kgf/cm <sup>2</sup> )
01	7	1,80
	11	1,40
02	14	2,80
	17	2,80
	19	1,80
	23	1,80
	27	1,60
03	34	1,40
	41	1,60
04	48	1,40
	55	1,40
05	63	1,60
	69	1,60
06	76	1,40
07	84	1,60
	90	1,20
08	98	1,00
	105	1,20
09	112	1,20
	118	1,20
10	132	1,00
	139	1,10
Balanço	141	1,20

\* pressão de serviço no ponto pivô: 1,75 Kgf/cm<sup>2</sup>.

\*\* pressão na saída da bomba: 7,70 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Tabela 26 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 05.

Data: 15/12/89

Vão	Nº do aspersor	Pressão de serviço (Kgf/cm <sup>2</sup> )
01	7	1,60
	11	1,40
02	14	2,80
	17	2,60
	19	1,80
	23	1,70
	27	1,40
03	34	1,40
	41	1,60
04	48	1,40
	55	1,40
05	63	1,40
	69	1,30
06	76	1,60
07	84	1,20
	90	1,30
08	98	1,10
	105	1,30
09	112	1,30
	118	1,20
10	132	1,00
	139	1,20
Balanço	141	1,10

Obs: vazamento  
na lateral

\* pressão de serviço no ponto pivô: 1,60 Kgf/cm<sup>2</sup>.

\*\* pressão na saída da bomba: 7,7 Kgf/cm<sup>2</sup>.



Tabela 27 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 06.

Data: 20/12/89

Vão	Nº do aspersor	Pressão de serviço (Kgf/cm <sup>2</sup> )
01	7	1,60
	11	1,20
02	14	2,80
	17	2,80
	19	1,60
	23	1,40
	27	1,40
03	34	1,30
	41	1,60
04	48	1,30
	55	1,30
05	63	1,20
	69	1,20
06	76	1,50
07	84	1,20
	90	1,20
08	98	1,00
	105	1,10
09	112	1,20
	118	1,10
10	132	1,00
	139	1,00
Balanço	141	1,00

\* pressão de serviço no ponto pivô: 1,70 Kgf/cm<sup>2</sup>.

\*\* pressão na saída da bomba: 7,65 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Tabela 28 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 07.

Data: 20/12/89

Vão	Nº do aspersor	Pressão de serviço (Kgf/cm <sup>2</sup> )
01	7	1,20
	11	1,00
02	14	2,60
	17	2,60
	19	1,10
	23	1,10
	27	1,10
03	34	1,10
	41	1,10
04	48	1,10
	55	1,10
05	63	1,10
	69	1,10
06	76	1,20
07	84	1,20
	90	1,10
08	98	1,10
	105	1,10
09	112	1,10
	118	1,00
10	132	1,10
	139	1,10
Balanço	141	1,00

\* pressão de serviço no ponto pivô: 1,7 Kgf/cm<sup>2</sup>.

\*\* pressão na saída da bomba: 7,6 Kgf/cm<sup>2</sup>.



Tabela 29 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 08.

Data: 07/02/90

Vão	Nº do aspersor	Pressão de serviço (Kgf/cm <sup>2</sup> )
01	7	2,20
	11	1,40
02	14	2,80
	17	2,70
	19	1,70
	23	1,60
	27	1,40
03	34	1,40
	41	1,40
04	48	1,60
	55	1,40
05	63	1,20
	69	1,20
06	76	1,40
07	84	1,20
	90	1,20
08	98	1,20
	105	1,10
09	112	1,20
	118	1,00
10	132	1,00
	139	1,20
Balanço	141	1,20

Obs: vazamento  
na lateral

\* pressão de serviço no ponto pivô: 1,80 Kgf/cm<sup>2</sup>.

\*\* pressão na saída da bomba: 7,65 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Tabela 30 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 09.

Data: 08/02/90

Vão	Nº do aspersor	Pressão de serviço (Kgf/cm <sup>2</sup> )
01	7	1,80
	11	1,20
02	14	2,80
	17	2,60
	19	1,60
	23	1,40
	27	1,40
03	34	1,30
	41	1,40
04	48	1,30
	55	1,30
05	63	1,20
	69	1,40
06	76	1,40
07	84	1,20
	90	1,20
08	98	1,20
	105	1,00
09	112	1,10
	118	1,00
10	132	1,10
	139	1,20
Balanco	141	1,20

Obs: vazamento  
na lateral

\* pressão de serviço no ponto pivô: 1,80 Kgf/cm<sup>2</sup>.

\*\* pressão na saída da bomba: 7,65 Kgf/cm<sup>2</sup>.



Tabela 31 - Pressão de serviço dos sprays escolhidos aleatoriamente ao longo da lateral - Medição nº 10.

Data: 14/02/90

Vão	Nº do aspersor	Pressão de serviço (Kgf/cm <sup>2</sup> )
01	7	1,60
	11	1,20
02	14	3,00
	17	2,90
	19	1,90
	23	1,80
	27	1,40
03	34	1,50
	41	1,60
04	48	1,40
	55	1,40
05	63	1,40
	69	1,30
06	76	1,40
07	84	1,30
	90	1,20
08	98	1,20
	105	1,10
09	112	1,20
	118	1,00
10	132	1,00
	139	1,10
Balanço	141	1,00

\* Pressão de serviço no ponto pivô: 1,60 Kgf/cm<sup>2</sup>.

\*\* pressão na saída da bomba: 7,65 Kgf/cm<sup>2</sup>.

ANEXO 03

LÂMINAS COLETADAS DURANTE OS TESTES



Lâmina 32 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 01 - Regulagem da velocidade em 50 %.

Dia do teste: 09/11/89 e 09/11/89

Hora de início: 8 h 56 min e 16 h 57 min

Evaporação: 0,13 e 0,26 mm

Temperatura média do ar: 28 e 28 °C

Umidade relativa média do ar: 88 e 88 %

Vão	nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
01	1	0	3,28	1,64	Sprays obstruídos na 1ª torre, no raio 1.
	2	4,71	3,41	4,06	
	3	4,33	12,91	8,62	
	4	14,17	15,40	14,78	
	5	8,09	10,50	9,29	
	6	9,71	10,24	9,97	
02	7	8,92	13,05	10,98	
	8	6,78	10,12	8,45	
	9	8,00	7,47	7,73	
	10	9,23	6,02	7,62	
	11	7,22	4,46	5,84	
	12	8,92	8,79	8,85	
	13	6,17	7,74	6,95	
	14	6,59	11,55	9,07	
03	15	5,80	5,64	5,72	
	16	4,39	5,51	4,95	
	17	8,20	8,97	8,58	
	18	9,45	7,92	8,68	
	19	7,22	6,61	6,91	
	20	6,76	10,11	8,43	
	21	6,30	6,43	6,36	
04	22	7,48	4,33	5,90	
	23	5,91	2,89	4,40	
	24	5,19	3,94	4,56	
	25	4,46	3,81	4,13	
	26	6,96	4,33	5,64	
	27	7,61	5,65	6,63	
	28	5,12	6,96	6,04	
	29	5,12	3,02	4,07	

Tabela 32 - Continuação.

Vão	Nº de ordem pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
05	30	6,42	5,66	6,04	
	31	4,86	5,24	5,05	
	32	12,60	6,17	9,38	
	33	10,37	4,33	7,35	
	34	8,79	5,91	7,35	
	35	7,81	7,35	7,58	
	36	4,53	3,81	4,17	
06	37	2,89	4,20	3,54	6ª torre, raio 1, pen- dural empenado
	38	3,94	5,58	4,76	
	39	5,71	6,96	6,33	
	40	7,48	7,03	7,25	
	41	6,82	7,09	6,95	
	42	7,22	7,72	7,47	
	43	7,61	8,36	7,98	
	44	5,11	5,43	5,27	
07	45	5,39	8,69	7,04	7ª torre - vazamento la- teral no raio 1.
	46	4,46	7,81	6,13	
	47	4,72	5,08	4,90	
	48	5,32	9,54	7,43	
	49	5,91	7,93	6,92	
	50	6,04	7,48	6,76	
	51	5,64	5,12	5,38	
08	52	5,84	4,92	5,38	
	53	5,84	4,72	5,28	
	54	5,65	3,54	4,59	
	55	5,45	7,48	6,46	
	56	4,90	5,99	5,44	
	57	8,05	4,59	6,32	
	58	5,04	5,38	5,21	
	59	11,97	7,21	9,59	
09	60	8,60	9,05	8,82	Pendural empenado, no raio 1.
	61	10,27	8,57	9,42	
	62	5,51	8,14	6,82	
	63	6,61	8,51	7,56	
	64	7,71	9,86	8,78	
	65	5,51	7,59	6,55	
	66	4,72	4,86	4,79	



Tabela 32 - Continuação.

Vão	Nº de ordem pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
10	67	4,33	6,34	5,33	
	68	4,85	4,14	4,49	
	69	6,93	4,85	5,89	
	70	6,33	4,59	5,46	
	71	5,65	7,35	6,50	
	72	7,13	6,04	6,58	
	73	5,69	17,85	11,77	
	74	4,37	18,37	11,37	
Balança	75	12,60	15,09	13,84	
	76	1,32	4,07	2,69	
	77	4,58	0,59	2,58	2 últimos sprays obs- truído nos dois raios.
	78	3,16	0	1,58	

Tabela 33 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 02 - Regulagem da velocidade em 50 %.

Dia do teste: 12/12/89 e 07/12/89

Hora de início: 16 h 45 min e 8 h 37 min

Evaporação: 0,13 e 0,13 mm

Temperatura média do ar: 28 e 28 °C

Umidade relativa média do ar: 95 e 94 %

Vão	nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
01	1	0	3,28	1,64	
	2	4,72	3,72	4,22	
	3	8,27	13,12	10,70	
	4	18,11	15,13	16,62	
	5	8,92	12,99	10,96	
	6	11,68	10,51	11,10	
02	7	14,44	12,73	13,59	
	8	13,78	9,84	11,81	
	9	9,45	8,01	8,73	
	10	8,53	6,44	7,49	
	11	5,51	4,86	5,19	
	12	5,97	8,92	7,45	
	13	6,43	9,71	8,07	
	14	7,67	8,66	8,17	
03	15	8,92	8,66	8,79	
	16	5,58	7,41	6,63	
	17	12,00	10,76	11,38	Pendural empenado.
	18	6,04	8,66	7,35	
	19	5,71	6,96	6,34	
	20	5,38	11,10	8,24	
	21	5,38	6,30	5,84	
04	22	7,87	7,35	7,61	
	23	9,19	4,07	6,63	
	24	8,93	3,54	6,24	
	25	8,66	5,91	7,29	
	26	9,05	5,67	7,36	
	27	8,66	7,09	7,88	
	28	7,22	8,53	7,88	
	29	5,77	4,07	4,92	



Tabela 33 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
05	30	7,81	6,82	7,32	
	31	9,84	5,64	7,74	
	32	9,32	5,54	7,43	
	33	8,79	7,48	8,14	
	34	4,33	8,72	6,53	
	35	5,64	9,97	7,81	
	36	5,51	5,91	5,71	
06	37	5,78	5,25	5,52	
	38	8,86	4,86	6,86	
	39	8,14	4,59	6,37	
	40	11,94	10,10	11,02	Pendural empenado nos dois raios.
	41	6,04	9,38	7,71	
	42	5,38	8,66	7,02	
	43	5,51	8,01	6,76	
	44	4,91	4,92	4,92	
07	45	5,53	8,53	7,03	
	46	3,73	9,84	6,79	
	47	9,71	6,30	8,01	
	48	8,33	9,84	9,09	
	49	6,96	8,79	7,88	
	50	6,30	7,42	6,86	
	51	5,51	6,04	5,78	
08	52	8,97	3,81	6,39	
	53	9,69	3,02	6,36	
	54	10,74	4,59	7,67	
	55	8,83	5,51	7,17	
	56	7,87	7,22	7,55	
	57	6,47	6,69	6,58	
	58	8,31	8,66	8,49	
	59	6,37	7,08	6,73	
09	60	9,12	8,41	8,77	
	61	9,58	9,84	9,71	
	62	7,22	9,19	8,21	Pendural empenado no raio 2.
	63	10,00	7,61	8,81	
	64	7,71	10,10	8,91	
	65	5,64	8,27	6,96	
	66	7,74	6,69	7,22	

Tabela 33 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
10	67	5,12	6,75	5,94	
	68	6,69	6,82	6,76	
	69	6,96	5,77	6,37	
	70	6,30	4,72	5,51	
	71	5,64	10,63	8,14	
	72	8,01	9,45	8,73	
	73	7,74	11,94	9,84	
	74	8,40	16,54	12,47	
Balanço	75	17,45	13,25	15,35	Escoamento superficial no final dos raios.
	76	1,31	1,97	1,64	
	77	4,59	0,52	2,56	
	78	3,15	0	1,58	



Tabela 34 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 03 - Regulagem da velocidade em 50 %.

Dia do teste: 14/12/89 e 15/12/89

Hora de início: 7 h 30 min e 7 h 42 min

Evaporação média do ar: 0,13 e 0,0 mm

Temperatura média do ar: 28 e 28 °C

Umidade relativa média do ar: 95 e 95 %

Vão	nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
01	1	0	3,46	1,74	
	2	4,74	3,75	4,25	
	3	6,31	13,19	9,76	
	4	16,13	14,83	15,49	
	5	8,49	10,24	9,37	
	6	10,72	10,76	10,75	
02	7	11,67	13,78	12,73	Pendural empenado nos raios.
	8	10,29	10,76	10,53	
	9	8,75	7,35	8,06	
	10	8,86	5,97	7,42	
	11	6,39	4,59	5,50	
	12	7,42	8,49	7,96	
	13	6,32	7,22	6,78	
	14	7,12	9,05	8,09	
03	15	7,37	7,37	7,38	
	16	5,11	7,22	6,17	
	17	10,11	5,91	8,02	
	18	7,77	8,14	7,96	
	19	6,49	8,01	7,26	
	20	6,08	12,07	9,08	
	21	5,83	4,20	5,02	
04	22	7,65	4,59	6,13	
	23	7,56	5,38	6,48	
	24	7,07	3,41	5,25	
	25	6,57	6,17	6,38	
	26	8,03	6,96	7,50	
	27	8,16	6,83	7,50	
	28	6,16	6,69	6,43	
	29	5,47	4,59	5,04	

Tabela 34 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lamina coletada(mm)		Lamina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
05	30	7,14	4,92	6,04	Pendural empenado no raio 1.
	31	7,34	5,25	6,30	
	32	10,97	4,86	7,92	
	33	9,57	5,51	7,55	
	34	6,57	7,48	7,03	
	35	6,75	7,22	6,99	
	36	5,01	4,72	4,87	
06	37	4,36	4,46	4,42	
	38	6,39	5,64	6,02	
	39	6,95	7,61	7,29	
	40	9,70	9,58	9,65	
	41	6,44	9,01	7,73	
	42	6,29	9,58	7,94	
	43	6,57	9,05	7,82	
	44	5,02	4,46	4,75	
07	45	5,47	9,19	7,34	Vazamento na junta da 7ª torre, no raio 2.
	46	4,12	6,17	5,15	
	47	7,24	4,20	5,73	
	48	6,85	9,58	8,22	
	49	6,46	7,48	6,98	
	50	6,16	6,43	6,30	
	51	5,56	5,38	5,48	
08	52	7,42	7,61	7,52	
	53	7,79	7,55	7,68	
	54	8,22	7,48	7,86	
	55	7,13	6,43	6,79	
	56	6,41	5,32	5,87	
	57	7,27	4,20	5,74	
	58	6,70	7,22	6,97	
	59	9,16	7,51	8,34	
09	60	8,87	7,79	8,34	Pendural empenado no raio 2.
	61	9,92	7,64	8,79	
	62	6,39	7,48	6,94	
	63	8,33	9,78	9,06	
	64	7,71	10,04	8,88	
	65	5,60	7,35	6,48	
	66	6,22	6,96	6,60	



Tabela 34 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
10	67	4,75	6,32	5,54	
	68	5,78	5,70	5,75	
	69	6,94	4,33	5,64	
	70	6,34	6,30	6,33	
	71	5,67	13,91	9,80	
	72	7,47	12,86	10,17	
	73	6,74	18,11	12,43	
	74	6,41	19,82	13,12	
Balança	75	15,02	17,32	16,18	Escoamento no final dos raios.
	76	1,34	6,56	3,96	
	77	4,61	1,05	2,84	
	78	3,18	0	1,60	

Tabela 35 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 01 - Regulagem da velocidade em 80 %.

Dia do teste: 22/11/89 e 27/11/89

Hora de início: 10 h 08 min e 17 h 35 min

Evaporação média do ar: 0,07 e 0,03 mm

Temperatura média do ar: 27,5 e 28 °C

Umidade relativa média do ar: 94 e 94 %

Vão	nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
01	1	0	2,99	1,50	Empoçamento no início do raio.
	2	2,23	5,31	3,77	
	3	7,22	8,12	7,67	
	4	6,17	9,97	8,07	
	5	3,67	5,64	4,66	
	6	7,15	6,04	6,60	
02	7	1,18	7,57	4,38	Sprays parcialmente obstruídos no raio 1.
	8	0,26	6,79	3,53	
	9	0,66	4,09	2,38	
	10	8,79	3,10	5,95	Baixa sobreposição en- tre sprays no raio 2.
	11	3,94	2,49	3,22	
	12	7,74	6,82	7,28	
	13	2,23	4,33	3,28	
	14	4,66	5,64	5,15	
03	15	4,13	5,25	4,69	
	16	1,71	4,73	3,22	
	17	7,35	4,20	5,78	
	18	4,59	5,84	5,22	
	19	3,81	6,04	4,93	
	20	2,23	6,96	4,60	
	21	2,56	3,15	2,86	
04	22	1,97	2,66	2,32	Pendural empenado no raio 1. (sprays com baixa so- breposição).
	23	4,20	2,17	3,19	
	24	0,92	2,76	1,84	
	25	2,36	2,73	2,55	
	26	1,57	2,69	2,13	
	27	6,04	2,43	4,24	
	28	6,43	3,15	4,79	
	29	2,10	2,10	2,10	



Tabela 35 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
05	30	4,72	1,31	3,02	Pendural empenado no raio 2. (sprays com baixa so- breposição).
	31	1,77	2,00	1,89	
	32	6,30	4,43	5,37	
	33	7,61	3,28	5,45	
	34	4,17	4,33	4,25	
	35	3,74	5,38	4,56	
	36	3,87	3,54	3,71	
06	37	4,00	1,71	2,86	
	38	2,82	1,57	2,20	
	39	2,76	4,72	3,74	
	40	5,25	6,17	5,71	
	41	4,59	4,46	4,53	
	42	5,51	5,12	5,32	
	43	6,96	5,77	6,37	
07	44	0,98	4,96	2,97	
	45	5,38	3,54	4,46	
	46	5,82	5,18	5,50	
	47	6,27	4,13	5,20	
	48	6,41	4,59	5,50	
	49	4,07	5,71	4,89	
	50	3,28	2,82	3,05	
08	51	2,49	2,49	2,49	
	52	4,00	1,97	2,99	
	53	2,88	2,62	2,75	
	54	3,46	2,62	3,04	
	55	3,31	5,64	4,48	
	56	5,51	4,73	5,12	
	57	3,67	3,81	3,74	
09	58	3,54	3,81	3,68	
	59	4,43	5,35	4,84	
	60	4,04	4,96	4,50	
	61	4,36	4,57	4,47	
	62	4,72	4,63	4,68	
	63	3,82	5,48	4,65	
	64	3,95	5,49	4,72	
	65	3,10	5,91	4,51	Pendural empenado no raio 2.
	66	3,61	4,86	4,24	

Tabela 35 - Continuação

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
10	67	3,14	4,72	3,93	Baixa sobreposição entre sprays nos dois raios
	68	2,31	2,36	2,34	
	69	2,79	3,42	3,11	
	70	4,28	4,29	4,29	
	71	4,49	4,63	4,56	
	72	6,23	4,78	5,51	
	73	3,67	4,92	4,30	
	74	4,26	9,58	6,92	
Balanço	75	7,55	10,89	9,22	3ª e o último spray do balanço entupidos no raio 2. Último spray mais alto no raio 2.
	76	9,45	3,54	6,50	
	77	6,14	1,71	3,93	
	78	2,10	0	1,05	



Tabela 36 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 02 - Regulagem da velocidade em 80 %.

Dia do teste: 06/12/89 a 05/12/89

Hora de início: 13 h 09 min e 16 h 28 min

Evaporação média do ar: 0,2 e 0,26 mm

Temperatura média do ar: 28 e 28 °C

Umidade relativa média do ar: 95 e 91 %.

Vão	nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
01	1	0	3,54	1,77	
	2	6,96	4,11	5,54	
	3	8,14	8,79	8,47	
	4	9,45	9,97	9,71	
	5	3,54	5,91	4,73	
	6	6,96	6,04	6,50	
02	7	5,64	5,91	5,78	
	8	5,38	3,94	4,66	
	9	4,59	4,07	4,33	
	10	6,69	2,23	4,46	
	11	4,13	2,89	3,51	
	12	4,33	5,51	4,92	
	13	2,49	3,81	3,15	
	14	2,89	3,28	3,09	
03	15	4,07	2,36	3,22	
	16	2,89	3,02	2,96	
	17	7,48	4,72	6,10	
	18	4,99	3,94	4,47	
	19	2,89	3,28	3,09	
	20	3,41	4,33	3,87	
	21	3,02	3,28	3,15	
04	22	6,17	2,69	4,43	
	23	3,81	2,10	2,96	
	24	4,59	2,17	3,38	
	25	4,99	4,99	4,99	
	26	7,09	4,86	5,98	
	27	3,54	7,35	5,45	Pendural empenado no raio 1 (sprays com baixa sobreposição).
	28	2,62	4,33	3,48	
	29	2,62	2,30	2,46	

Tabela 36 - Continuação.

vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
05	30	7,15	1,71	4,43	
	31	4,99	1,31	3,15	
	32	6,04	5,64	5,84	
	33	5,77	4,46	5,12	
	34	4,20	4,20	4,20	
	35	4,33	3,54	3,94	
	36	3,74	3,67	3,71	
06	37	3,15	1,57	2,36	Baixa sobreposição entre sprays no raio 2.
	38	5,64	1,71	3,68	
	39	4,07	3,02	3,55	
	40	6,69	4,99	5,84	
	41	6,43	6,56	6,50	
	42	4,33	6,43	5,38	
	43	3,02	4,59	3,81	
	44	1,84	4,86	3,35	
07	45	5,15	4,66	4,91	Pendural empenado no raio 1.
	46	7,11	4,46	5,79	
	47	9,05	4,99	7,02	
	48	10,37	6,43	8,40	
	49	6,30	3,67	4,99	
	50	4,20	4,07	4,14	
	51	2,62	2,10	2,36	
08	52	7,09	2,10	4,60	Sprays com baixa sobreposição no raio 2.
	53	4,33	3,02	3,68	
	54	4,59	4,46	4,53	
	55	4,46	3,67	4,07	
	56	5,12	3,67	4,40	
	57	4,99	1,97	3,48	
	58	4,66	4,99	4,83	
	59	4,33	3,88	4,11	
09	60	4,86	2,76	3,81	
	61	2,62	2,89	2,76	
	62	2,62	4,59	3,61	
	63	2,49	6,69	4,59	
	64	2,89	5,91	4,40	
	65	1,84	3,67	2,76	
	66	3,02	3,15	3,09	



Tabela 36 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
10	67	4,07	2,23	3,15	Pendural empenado no raio 2.
	68	2,10	2,25	2,18	
	69	2,62	3,16	2,89	
	70	3,81	4,07	3,94	
	71	3,55	4,99	4,27	
	72	3,28	5,77	4,53	
	73	2,89	6,82	4,86	
	74	1,84	8,01	4,93	
Balanço	75	5,91	12,66	9,29	Escoamento superficial no final do raio 2.
	76	4,72	3,81	4,27	
	77	4,42	0,66	2,54	
	78	1,84	0	0,92	

Tabela 37 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 03 - Regulagem da velocidade em 80 %.

Dia do teste: 12/12/89 e 15/12/89

Hora de início: 15 h 44 min e 8 h 30 min

Evaporação média do ar: 0,13 e 0,0 mm

Temperatura média do ar: 28 e 28 °C

Umidade relativa média do ar: 95 e 95 %

Vão	nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
01	1	0	2,23	1,12	Pendural empenado no raio 1.
	2	4,86	3,39	4,13	
	3	4,59	7,97	6,29	
	4	9,58	8,92	9,26	
	5	5,97	6,04	6,01	
	6	9,32	4,99	7,16	
02	7	7,48	7,35	7,42	Pendural empenado.
	8	6,30	8,66	7,49	
	9	4,72	4,59	4,66	
	10	4,59	4,13	4,37	
	11	2,89	3,67	3,29	Pendural empenado no raio 1.
	12	3,08	5,25	4,17	
	13	2,62	4,99	3,81	
	14	6,69	5,51	6,11	
03	15	6,23	7,22	6,73	Pendural empenado (sprays com baixa so- breposição) no raio 1.
	16	0,95	3,67	2,30	
	17	7,61	3,94	5,78	
	18	5,05	5,25	5,16	
	19	4,86	5,25	5,06	
	20	4,33	7,87	6,11	
	21	2,36	4,59	3,48	
04	22	8,79	4,40	6,60	
	23	6,23	4,20	5,22	
	24	8,66	4,40	6,54	
	25	4,99	4,59	4,80	
	26	6,56	4,59	5,58	
	27	8,14	4,66	6,41	
	28	1,44	4,72	3,09	
	29	2,89	4,99	3,95	

Tabela 37 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
05	30	8,40	1,97	5,19	Baixa sobreposição entre sprays no raio 2.
	31	6,43	1,84	4,14	
	32	5,12	3,02	4,08	
	33	7,74	3,67	5,71	
	34	3,94	6,04	5,00	
	35	2,95	5,51	4,24	
	36	3,15	3,28	3,22	
06	37	4,66	3,02	3,85	
	38	7,87	2,62	5,25	
	39	6,82	4,59	5,71	
	40	7,61	6,56	7,09	
	41	7,48	5,25	6,37	
	42	4,59	6,43	5,52	
	43	3,02	5,51	4,27	
07	44	1,71	5,06	3,39	Vazamento na lateral nos dois raios.
	45	5,12	4,20	4,67	
	46	6,11	5,24	5,68	
	47	7,09	5,79	6,45	
	48	7,87	4,33	6,11	
	49	4,46	5,25	4,86	
	50	3,15	5,64	4,40	
08	51	2,49	3,41	2,96	
	52	4,20	2,89	3,55	
	53	3,15	3,02	3,09	
	54	6,17	6,04	6,11	
	55	5,78	4,46	5,13	
	56	5,38	4,41	4,90	
	57	2,23	4,33	3,29	
09	58	5,38	6,04	5,72	Pendural empenado.
	59	4,33	4,66	4,50	
	60	6,82	3,28	5,06	
	61	5,25	3,87	4,57	
	62	3,54	4,46	4,01	
	63	4,94	4,07	4,51	
	64	4,78	4,86	4,83	
	65	2,46	5,64	4,06	
	66	3,15	2,89	3,03	



Tabela 37 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
10	67	1,97	2,89	2,44	
	68	2,36	2,62	2,50	
	69	2,76	3,48	3,13	
	70	4,59	4,33	4,47	
	71	6,69	4,07	5,39	
	72	8,27	5,97	7,13	
	73	4,79	7,87	6,34	
	74	3,67	10,63	7,16	
Balança	75	7,35	11,68	9,52	Escoamento superficial no final do raio 2.
	76	4,20	2,89	3,55	
	77	2,89	0,79	1,85	
	78	1,87	0	0,94	

Tabela 38 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 01 - Regulagem da velocidade em 100 %.

Dia do teste: 06/12/89 e 13/11/89

Hora de início: 12 h 24 min e 11 h 51 min

Evaporação média do ar: 0,26 e 0,13 mm

Temperatura média do ar: 28 e 28 °C

Umidade relativa média do ar: 95 e 98 %

Vão	nº de ordem do pluviômetro	Lâmina de coleta(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
01	1	0	1,58	0,79	Empoçamento.
	2	2,76	1,25	2,00	
	3	4,33	5,91	5,12	
	4	8,01	4,92	6,46	
	5	2,89	4,07	3,48	
	6	5,51	4,07	4,79	
02	7	4,20	4,33	4,26	Coletor fora de horizontalidade e defeituoso no raio 2.
	8	4,33	0,92	2,62	
	9	3,81	2,43	3,12	
	10	4,53	1,38	2,95	
	11	2,49	1,25	1,87	
	12	2,76	1,90	2,33	
	13	1,84	3,67	2,75	
	14	3,02	2,49	2,75	
03	15	3,41	3,67	3,54	Pendural empenado no raio 1.
	16	3,15	2,76	2,95	
	17	5,18	1,44	3,31	
	18	3,94	0,92	2,43	
	19	2,10	2,37	2,23	
	20	3,28	3,28	3,28	
	21	1,71	2,36	2,03	
04	22	3,28	1,84	2,56	Baixa sobreposição entre sprays.
	23	2,76	1,64	2,20	
	24	4,07	0,66	2,36	
	25	3,28	1,44	2,36	
	26	3,67	2,50	3,08	
	27	1,84	4,14	2,99	
	28	1,57	3,54	2,55	
	29	1,97	2,30	2,03	

Tabela 38 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina de coleta(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
05	30	4,46	1,85	3,15	
	31	3,15	1,74	2,44	
	32	3,94	2,23	3,08	
	33	3,28	1,31	2,29	
	34	2,60	1,90	2,25	
	35	2,76	3,67	3,21	
	36	2,94	2,10	2,52	
06	37	3,28	1,18	2,23	
	38	4,33	2,10	3,21	
	39	3,08	1,71	2,39	
	40	4,33	2,82	3,57	
	41	4,13	2,73	3,43	
	42	2,36	3,28	2,82	
	43	2,49	3,74	3,11	
07	44	2,54	2,28	2,41	
	45	2,50	2,89	2,69	
	46	3,55	2,89	3,22	Pendural empenado no raio 1.
	47	4,46	2,88	3,67	
	48	3,81	2,43	3,12	
	49	3,02	3,54	3,28	Pendural empenado no raio 2.
	50	1,84	2,36	2,20	
08	51	1,74	1,51	1,62	
	52	4,20	1,31	2,75	
	53	2,82	1,77	2,29	
	54	4,33	1,97	3,15	
	55	4,86	2,89	3,87	
	56	2,89	1,71	2,30	
	57	3,02	1,71	2,36	
09	58	1,44	1,84	1,64	
	59	1,31	2,23	1,77	
	60	5,38	3,31	4,34	
	61	2,36	2,12	2,24	
	62	1,97	2,36	2,16	
	63	3,15	3,17	3,16	
	64	3,74	3,74	3,74	
	65	1,18	4,20	2,69	Pendural empenado no raio 2.
	66	2,10	2,76	2,43	



Tabela 38 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
10	67	3,02	4,53	3,77	Escoamento superficial no raio 2.
	68	1,77	3,61	2,69	
	69	1,84	2,63	2,23	
	70	3,41	3,22	3,31	
	71	5,12	3,02	4,07	
	72	2,62	3,61	3,11	
	73	2,76	9,45	6,10	
	74	1,97	9,19	5,58	
Balanço	75	5,05	4,99	5,02	
	76	4,99	0,99	2,99	
	77	2,62	0	1,31	
	78	0,84	0	0,42	

Tabela 39 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 02 - Regulagem da velocidade em 100 %.

Dia do teste: 13/12/89 e 07/12/89

Hora de Início: 17 h 06 min e 9 h 10 min

Evaporação média do ar: 0,03 e 0,13 mm

Temperatura média do ar: 28 e 28 °C

Umidade relativa média do ar: 97 e 94 %

Vão	nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
01	1	0	2,10	1,05	Pendural empenado no raio 1.
	2	4,07	1,12	2,60	
	3	3,15	5,63	4,39	
	4	8,66	5,28	6,97	
	5	3,67	4,99	4,33	
	6	7,74	3,94	5,84	
02	7	5,12	5,91	5,52	Baixa sobreposição en- tre sprays no raio 1.
	8	5,38	3,28	4,33	
	9	3,15	2,49	2,82	
	10	2,76	1,18	1,97	
	11	2,36	1,71	2,04	
	12	1,97	4,20	3,09	
	13	3,48	3,41	3,45	
	14	4,33	2,62	3,48	
03	15	2,76	3,54	3,15	
	16	2,96	2,49	2,73	
	17	4,20	3,15	3,68	
	18	3,02	1,97	2,50	
	19	2,82	2,76	2,79	
	20	2,23	3,54	2,89	
	21	1,84	2,62	2,23	
04	22	2,95	1,31	2,13	Pendural empenado no raio 1.
	23	2,76	1,31	2,04	
	24	3,54	1,71	2,63	
	25	3,02	1,97	2,50	
	26	3,48	2,76	3,12	
	27	3,02	4,20	3,61	
	28	1,05	3,02	2,04	
	29	2,10	1,84	1,97	

Tabela 39 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
05	30	3,54	1,84	2,69	
	31	4,46	1,91	3,19	
	32	4,57	1,97	3,27	
	33	3,28	1,57	2,43	
	34	2,60	3,41	3,01	
	35	1,97	2,62	2,30	
	36	2,17	2,36	2,27	
06	37	2,36	1,18	1,77	
	38	3,74	1,71	2,73	
	39	3,94	1,71	2,83	Pendural empenado no raio 2.
	40	5,25	4,59	4,92	
	41	3,67	3,54	3,61	
	42	3,37	3,41	3,39	
	43	2,87	3,94	3,41	
	44	3,47	1,97	2,72	
07	45	3,38	4,59	3,99	
	46	3,15	3,54	3,35	
	47	4,03	3,02	3,53	
	48	4,46	3,28	3,87	
	49	2,23	3,67	2,95	
	50	2,23	4,46	3,35	Vazamento na lateral no raio 2.
	51	2,36	2,62	2,49	
08	52	2,62	1,84	2,23	
	53	2,23	2,28	2,76	
	54	3,67	1,97	2,82	Baixa sobreposição en- tre sprays no raio 2.
	55	5,38	2,49	3,94	
	56	2,23	3,28	2,76	
	57	2,05	2,23	2,14	
	58	1,44	3,54	2,49	
	59	2,36	3,74	3,05	
09	60	5,64	2,49	4,07	
	61	2,23	2,56	2,40	
	62	2,76	2,49	2,63	
	63	2,49	3,02	2,76	
	64	4,46	4,86	4,66	Pendural empenado no raio 1.
	65	2,89	3,41	3,15	
	66	2,76	3,67	3,22	



Tabela 39 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
10	67	1,57	1,97	1,77	Pendural empenado no raio 2.
	68	2,82	2,49	2,66	
	69	1,44	2,82	2,13	
	70	3,94	3,15	3,55	
	71	3,67	2,49	3,08	
	72	3,41	3,54	3,48	
	73	3,54	4,86	4,20	
	74	3,67	6,90	5,29	
Balanco	75	4,86	6,72	5,79	
	76	3,20	0,66	1,93	
	77	3,02	0	1,51	
	78	2,10	0	1,05	

Tabela 40 - Lâminas coletadas ao longo da lateral durante o teste nº 03 - Regulagem da velocidade em 100 %.

Dia do teste: 14/12/89 e 14/02/90

Hora de início: 8 h 20 min e 12 h 56 min

Evaporação média do ar: 0,03 e 0,13 mm

Temperatura média do ar: 28 e 26 °C

Umidade relativa média do ar: 95 e 91 %

Vão	nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
01	1	0	1,05	0,53	
	2	4,59	1,19	2,89	
	3	3,54	5,77	4,66	
	4	10,50	5,10	7,80	Empoçamento no raio 1.
	5	4,33	4,33	4,33	
	6	6,96	3,61	5,29	
02	7	6,17	3,54	4,86	Pendural empenado no raio 1.
	8	4,59	2,62	3,61	
	9	3,15	2,36	2,76	
	10	3,02	1,57	2,30	Baixa sobreposição entre sprays no raio 2.
	11	3,15	1,84	2,50	
	12	2,89	3,54	3,22	
	13	2,36	2,62	2,49	
	14	4,59	2,82	3,71	
03	15	3,41	3,02	3,22	
	16	2,69	3,02	2,86	
	17	4,86	2,30	3,58	
	18	3,48	1,18	2,33	
	19	3,67	1,97	2,82	
	20	4,46	4,86	4,66	
	21	2,10	1,97	2,04	
04	22	1,97	0,92	1,45	Spray parcialmente obstruído no raio 2.
	23	3,67	1,57	2,62	
	24	4,46	0,39	2,43	
	25	4,20	1,31	2,76	
	26	4,20	1,97	3,09	
	27	4,86	4,07	4,47	Pendural empenado no raio 2.
	28	1,05	3,02	2,04	
	29	1,18	1,97	1,58	

Tabela 40 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
05	30	3,54	1,84	2,69	Baixa sobreposição entre sprays do raio 2.
	31	5,12	1,57	3,35	
	32	4,07	1,84	2,96	
	33	3,02	1,31	2,17	
	34	2,61	4,00	3,31	
	35	2,10	3,67	2,89	
	36	2,49	3,22	2,86	
06	37	2,10	2,76	2,43	Pendural empenado no raio 1.
	38	4,40	3,94	4,17	
	39	3,54	1,44	2,49	
	40	4,46	3,54	4,00	
	41	3,67	2,89	3,28	Baixa sobreposição entre sprays no raio 2.
	42	3,67	3,15	3,41	
	43	2,77	3,54	3,16	
	44	3,12	1,97	2,55	
07	45	3,54	2,89	3,22	
	46	3,72	2,23	2,98	
	47	3,21	2,76	2,99	
	48	4,20	1,57	2,89	
	49	3,02	3,28	3,15	
	50	2,36	3,94	3,15	
	51	2,10	2,76	2,43	
08	52	2,49	1,58	2,04	Baixa sobreposição entre sprays no raio 2.
	53	2,23	1,99	2,11	
	54	3,94	1,77	2,86	
	55	5,77	2,89	4,33	
	56	3,41	1,84	2,63	
	57	1,97	1,97	1,97	
	58	1,71	3,02	2,37	
	59	1,57	2,10	1,84	
09	60	5,57	1,84	3,71	Pendural empenado no raio 2.
	61	2,36	3,15	2,76	
	62	2,76	2,23	2,50	
	63	4,20	3,32	3,76	
	64	3,94	4,72	4,33	
	65	3,67	4,07	3,87	
	66	3,15	3,22	3,19	



Tabela 40 - Continuação.

Vão	Nº de ordem do pluviômetro	Lâmina coletada(mm)		Lâmina média do sistema (mm)	Observação
		Raio 1	Raio 2		
10	67	1,57	2,49	2,03	Pendural empenado no raio 1.
	68	1,97	2,36	2,17	
	69	1,44	2,43	1,94	
	70	6,17	3,28	4,73	
	71	3,94	4,99	4,47	
	72	3,41	6,69	5,05	
	73	4,33	6,96	5,65	
	74	3,54	7,35	5,45	
Balanço	75	3,67	7,48	5,58	
	76	1,97	1,31	1,64	
	77	3,02	0	1,51	
	78	1,18	0	0,59	

ANEXO 04

DADOS DO FABRICANTE

Tabela 41 - Dados do "kit" do fabricante.

Aspersor nº	Bocal (mm)	Pressão de serviço (psi)	Vazão (m³/h)	Diâmetro molhado (m)	Modelo
PONTO PIVÔ - INÍCIO: VÃO nº 1					
01	2,0	10	0,094	9	Spray
02	2,0	10	0,094	9	Spray
03	2,0	10	0,094	9	Spray
04	2,0	10	0,094	9	Spray
05	2,0	10	0,094	9	Spray
06	2,0	20	0,176	12	Spray
07	2,0	20	0,176	12	Spray
08	2,0	20	0,176	12	Spray
09	2,0	20	0,176	12	Spray
10	2,4	20	0,327	13	Spray
11	2,0	20	0,176	12	Spray
12	2,4	20	0,327	13	Spray
13	2,4	20	0,327	13	Spray
TORRE: nº 1 - INÍCIO: VÃO nº 2					
14	2,4	20	0,327	13	Spray
15	2,8	20	0,413	14,5	Spray
16	2,4	20	0,327	13	Spray
17	2,8	20	0,413	14,5	Spray
18	2,8	20	0,413	14,5	Spray
19	3,2	20	0,539	15,5	Spray
20	2,8	20	0,413	14,5	Spray
21	3,2	20	0,539	15,5	Spray
22	3,2	20	0,539	15,5	Spray
23	3,2	20	0,539	15,5	Spray
24	3,2	20	0,539	15,5	Spray
25	3,2	20	0,539	15,5	Spray
26	3,6	20	0,621	16,5	Spray
27	3,6	20	0,621	16,5	Spray
TORRE: nº 2 - INÍCIO: VÃO nº 3					
28	3,6	20	0,621	16,5	Spray
29	4,0	20	0,720	18	Spray
30	4,0	20	0,720	18	Spray
31	4,0	20	0,720	18	Spray
32	4,0	20	0,720	18	Spray
33	4,0	20	0,720	18	Spray
34	4,4	20	0,868	19	Spray
35	4,0	20	0,720	18	Spray
36	4,4	20	0,868	19	Spray
37	4,4	20	0,868	19	Spray
38	4,4	20	0,868	19	Spray
39	4,4	20	0,868	19	Spray
40	4,8	20	1,055	20	Spray
41	4,4	20	0,868	19	Spray



Tabela 41 - Continuação

Aspersor nº	Bocal (mm)	Pressão de serviço (psi)	Vazão (m³/h)	Diâmetro molhado (m)	Modelo
TORRE: nº 3 - INÍCIO: VÃO nº 4					
42	4,8	20	1,055	20	Spray
43	4,4	20	0,868	19	Spray
44	4,8	20	1,055	20	Spray
45	4,8	20	1,055	20	Spray
46	4,8	20	1,055	20	Spray
47	4,8	20	1,055	20	Spray
48	4,8	20	1,055	20	Spray
49	5,2	20	1,239	21	Spray
50	4,8	20	1,055	20	Spray
51	5,2	20	1,239	21	Spray
52	5,2	20	1,239	21	Spray
53	4,8	20	1,055	20	Spray
54	5,6	20	1,358	22	Spray
55	5,2	20	1,239	21	Spray
TORRE: nº 4 - INÍCIO: VÃO nº 5					
56	5,2	20	1,239	21	Spray
57	5,6	20	1,358	22	Spray
58	5,6	20	1,358	22	Spray
59	5,6	20	1,358	22	Spray
60	5,6	20	1,358	22	Spray
61	5,6	20	1,358	22	Spray
62	5,6	20	1,358	22	Spray
63	6,0	20	1,622	22,5	Spray
64	5,6	20	1,358	22	Spray
65	5,6	20	1,358	22	Spray
66	6,0	20	1,622	22,5	Spray
67	6,0	20	1,622	22,5	Spray
68	5,6	20	1,358	22	Spray
69	6,0	20	1,622	22,5	Spray
TORRE: nº 5 - INÍCIO: VÃO nº 6					
70	6,0	20	1,622	22,5	Spray
71	6,0	20	1,622	22,5	Spray
72	6,0	20	1,622	22,5	Spray
73	6,4	20	1,803	23,5	Spray
74	6,0	20	1,622	22,5	Spray
75	6,0	20	1,622	22,5	Spray
76	6,4	20	1,803	23,5	Spray
77	6,4	20	1,803	23,5	Spray
78	6,4	20	1,803	23,5	Spray
79	6,4	20	1,803	23,5	Spray
80	6,4	20	1,803	23,5	Spray
81	6,4	20	1,803	23,5	Spray
82	6,4	20	1,803	23,5	Spray
83	6,8	20	2,021	24,5	Spray

Tabela 41 - Continuação

Aspersor nº	Bocal (mm)	Pressão de serviço (psi)	Vazão (m³/h)	Diâmetro molhado (m)	Modelo
84	6,4	20	1,803	23,5	Spray
85	6,8	20	2,021	24,5	Spray
86	6,8	20	2,021	24,5	Spray
87	6,4	20	1,803	23,5	Spray
88	6,8	20	2,021	24,5	Spray
89	6,8	20	2,021	24,5	Spray
90	6,8	20	2,021	24,5	Spray
91	6,8	20	2,021	24,5	Spray
92	7,2	20	2,356	25,5	Spray
93	6,8	20	2,021	24,5	Spray
94	6,8	20	2,021	24,5	Spray
95	7,2	20	2,356	25,5	Spray
96	6,8	20	2,021	24,5	Spray
97	7,2	20	2,356	25,5	Spray
TORRE: nº 7 - INÍCIO: VÃO nº 8					
98	6,8	20	2,021	24,5	Spray
99	7,2	20	2,356	25,5	Spray
100	7,2	20	2,356	25,5	Spray
101	7,2	20	2,356	25,5	Spray
102	7,2	20	2,356	25,5	Spray
103	7,2	20	2,356	25,5	Spray
104	7,2	20	2,356	25,5	Spray
105	7,2	20	2,356	25,5	Spray
106	7,2	20	2,356	25,5	Spray
107	7,2	20	2,356	25,5	Spray
108	7,2	20	2,356	25,5	Spray
109	7,6	20	2,687	26	Spray
110	7,2	20	2,356	25,5	Spray
111	7,6	20	2,687	26	Spray
TORRE: nº 8 - INÍCIO: VÃO nº 9					
112	7,2	20	2,356	25,5	Spray
113	7,6	20	2,687	26	Spray
114	7,6	20	2,687	26	Spray
115	7,2	20	2,356	25,5	Spray
116	7,6	20	2,687	26	Spray
117	7,6	20	2,687	26	Spray
118	7,6	20	2,687	26	Spray
119	7,6	20	2,687	26	Spray
120	7,6	20	2,687	26	Spray
121	8,0	20	2,976	27	Spray
122	7,6	20	2,687	26	Spray
123	7,6	20	2,687	26	Spray
124	8,0	20	2,976	27	Spray
125	7,6	20	2,687	26	Spray

Tabela 41 - Continuação

Aspersor nº	Bocal (mm)	Pressão de serviço (psi)	Vazão (m³/h)	Diâmetro molhado (m)	Modelo
126	8,0	20	2,976	27	Spray
127	7,6	20	2,687	26	Spray
128	8,0	20	2,976	27	Spray
129	8,0	20	2,976	27	Spray
130	8,0	20	2,976	27	Spray
131	8,0	20	2,976	27	Spray
132	8,0	20	2,976	27	Spray
133	8,0	20	2,976	27	Spray
134	8,0	20	2,976	27	Spray
135	8,4	20	3,263	28	Spray
136	8,0	20	2,976	27	Spray
137	8,4	20	3,263	28	Spray
138	8,0	20	2,976	27	Spray
139	8,4	20	3,263	28	Spray
TORRE: nº 10 - INÍCIO: LANCE FINAL					
140	8,0	20	2,976	27	Spray
141	8,4	20	3,263	28	Spray
142	8,4	20	3,263	28	spray
143	8,4	20	3,263	28	Spray
144	Canhão ZN 20 mm				